STU-S4
Module M21
Pétrographie sédimentaire

2015

Dr Mohammed Et-Touhami
Université Mohamed Premier
stu_s4@yahoo.com

Wiki du cours

https://stu-s4.wikispaces.com/

Objectifs du module

① Acquérir les éléments de base nécessaires pour établir une classification des roches sédimentaires.

② Se familiariser avec les techniques d'identification macroscopique et microscopique des principaux composants des roches sédimentaires.

③ S'initier à l'analyse des mécanismes qui concourent à la formation des roches sédimentaires.

④ Mettre l'accent sur l'intérêt économique des roches sédimentaires.

Plan

Introduction

Trois familles de roches:
① Roches magmatiques
② **Roches sédimentaires**
③ Roches métamorphiques

Les roches sédimentaires se forment **à la surface de la terre à basses températures et pressions** grâce à une déposition par l'eau, le vent ou la glace.

Les roches sédimentaires sont caractérisées particulièrement par :

① la **présence de couches**, bien que la disposition en couches est également présente dans certaines roches volcaniques et métamorphiques ;
② des **textures** et des **structures distinctives** ;
③ la présence de **fossiles**.

Les roches sédimentaires **couvrent les ¾ de la surface du globe**

Elles ont une **signification génétique particulière** parce que leurs textures, structures, composition et contenu en fossiles révèlent :

① la **nature des paléo-environnements** de la surface;
② et les **formes de vie de la terre** (évolution de la vie sur terre).

Evolution de la vie et des paysages à travers le temps

Les roches sédimentaires ont également un intérêt économique:

① Elles contiennent des **minéraux** et des **combustibles fossiles** qui ont une importance **économique de premier ordre** (pétrole, gaz naturel, charbon, sel, phosphates, souffre, fer et autres gisements métalliques, uranium, etc.)

② Elles représentent l'un des principaux aquifères (terrains perméables contenant des eaux souterraines).

③ Elles sont utilisées comme matériaux de construction.

Terminologie

Pétrologie vs Pétrographie

Ils s'agit de deux **aspects complémentaires** de la science des roches :

① La pétrologie étudie les **processus de formation** (pétrogenèse) et de **transformation** (évolution) des roches;

② La pétrographie se limite à leur **description** (analyses de leurs caractères observables dans la nature, sur le terrain ou au laboratoire) et à leur **classification**.

Pour les roches sédimentaires, on parle de pétrologie sédimentaire et de **pétrographie sédimentaire**

Module M21: Pétrographie sédimentaire

Chapitre I

Mode de genèse et classification des roches sédimentaires

Plan

Introduction

Chapitre I : Modes de genèse et classifications des roches sédimentaires

1. Cycle géodynamique externe
2. Constituants des roches sédimentaires
   - 2.1 Particules terrigènes silicoclastiques
   - 2.2 Constituants chimiques ou biochimiques
   - 2.3 Constituants carbonées
   - 2.4 Constituants authigènes
   - 2.5 Typologie des roches sédimentaires

1. Cycle géodynamique externe

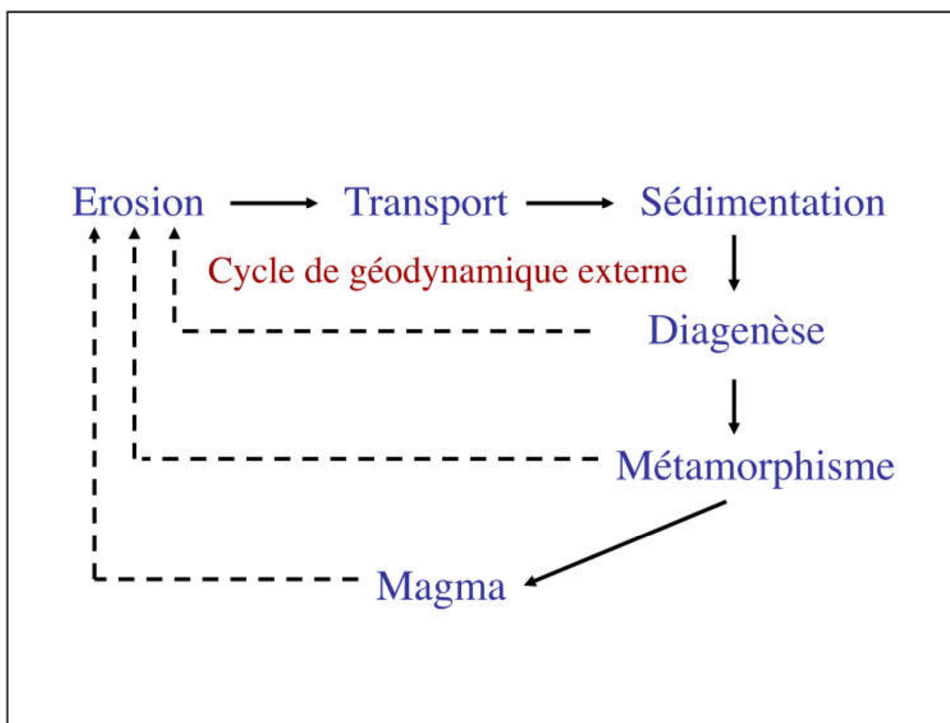
Toutes les roches sédimentaires sont le produit **d'une succession séquentielle** complexe de processus géologiques qui correspond au cycle géodynamique externe

① Erosion (roches sédimentaires, magmatiques et métamorphiques)

② Transport (eau, vent et glace)

③ Sédimentation (continentale, marine ou mixte)

④ Diagenèse (formation de roches sédimentaires)



2. Constituants des roches sédimentaires

Cette succession très généralisée des processus sédimentaires conduit à la génération de quatre sortes fondamentales de constituants :

① des particules terrigènes silicoclastiques ;
② des constituants chimiques ou biochimiques ;
③ des constituants carbonés ;
④ des constituants authigènes.

Ces constituants dans des proportions variées forment tous les roches sédimentaires.

2.1 Particules silicoclastiques terrigènes

- ✓ Les processus de **décomposition des roches par l'altération** (érosion) génèrent des particules de tailles variables qui sont soit des **grains minéraux individuels** ou **des agrégats de minéraux** (morceaux de roches).
- ✓ Les minéraux sont essentiellement des **silicates** tels que le quartz, les feldspaths et les micas. Les fragments de roches sont des clastes de **roches magmatiques, métamorphiques et sédimentaires** qui sont aussi composées principalement de minéraux silicatés.
- ✓ Des **minéraux secondaires** de taille fine, en particulier les **oxydes de fer et les minéraux argileux**, sont générés dans les **sites d'altération** par combinaison et cristallisation des éléments chimiques libérés des roches-mères.
- ✓ Ces minéraux et fragments de roches qui proviennent du continent et sont **transportés à l'état solide** vers les bassins de sédimentation sont appelés **grains silicoclastiques terrigènes**.

2.2 Constituants chimiques et biochimiques

- ✓ Les processus chimiques et biochimiques opérant **dans les bassins de sédimentation** peuvent conduire à **l'extraction de constituants solubles** à partir des eaux du bassin pour former des minéraux (calcite, le gypse, l'apatite, etc.) et à **la formation de tests** (carbonatés et siliceux) et de **coquilles d'organismes**.
- ✓ Certains minéraux précipités **peuvent s'agréger** pour former des grains de taille μmétrique à mmétrique qui **vont être déplacés par les courants et les vagues à l'intérieur du bassin de sédimentation** (ex. les ooïdes).
- ✓ Ces constituants sont le matériel qui va former les roches sédimentaires qui prennent naissance **à l'intérieur du bassin de sédimentation** telles que les carbonates, les silex, les évaporites et les phosphates.

2.3 Constituants carbonés

- ✓ Cette troisième catégorie de constituants sédimentaire est formée par les **résidus carbonés préservés** des animaux et des plantes terrestres et marins.

- ✓ Deux types de matériel carboné:
  - ① les résidus **humiques** (résidus ligneux des tissus de plantes) qui sont le composant principal de la plupart des **charbons**.
  - ② les résidus **sapropéliques** (restes de spores, pollens, phyto- et zooplanctons et des débris de plantes macérés) qui sont les composants principaux des **charbons sapropéliques**, des **schistes bitumineux** et du **pétrole**.

2.4 Constituants authigènes

- ✓ Cette catégorie de constituants des roches sédimentaires rassemble les minéraux qui **précipitent au cours de la diagenèse** à partir des eaux qui se trouve dans les pores de la roche.

- ✓ Ces constituants **secondaires** ou **authigènes** peuvent être des minéraux silicatés comme le quartz, les feldspaths, les minéraux argileux et la glauconite ou des minéraux non-silicatés comme la calcite, le gypse, la barytine et l'hématite. Ces minéraux peuvent s'ajouter durant l'enfouissement à n'importe quelle roche sédimentaire, mais ils ne sont jamais les constituants majoritaires.

2.5 Typologie des roches sédimentaires

- ✓ En fonction de l'abondance des constituants siliciclastiques, chimiques/biochimiques et carbonés, on distingue **trois types majeurs de roches sédimentaires** :
  - ① des roches sédimentaires silicoclastiques (terrogènes) ;
  - ② des roches sédimentaires chimiques/ biochimiques ;
  - ③ et des roches carbonées.
- ✓ Il faut signaler que chacun de ces groupes fondamentaux de roches sédimentaires **peut être subdivisé** en plusieurs sous-groupes sur la base de la **taille des grains** et/ou la **composition minéralogique**.

Module 21
Pétrographie sédimentaire

Chapitre II

Roches d'origine chimique et biochimique

Plan

Introduction

Chapitre I : Modes de genèse et classifications des roches sédimentaires.

Chapitre II : Roches d'origine chimique et biochimique.

A. Roches carbonatées
B. Roches phosphatées
C. Roches siliceuses
D. Roches évaporitiques
E. Roches carbonées

Plan

Introduction

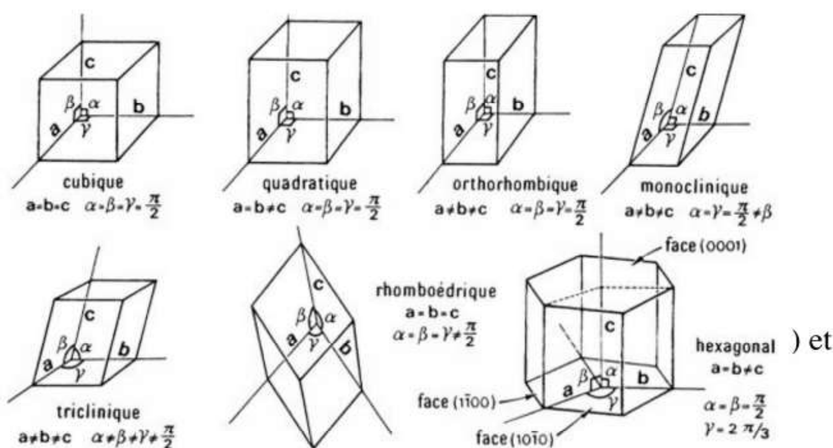
- ✓ Les roches carbonatées représentent ~ 20 à 25% de la totalité des roches de l'archive stratigraphique.
- ✓ Elles se rencontrent dans plusieurs assemblages du Précambrien et dand tous les systèmes géologiques depuis le Cambrien jusqu'au Quaternaire.
- ✓ La dolomie est la roche carbonatée qui domine dans le Précambrien et les séries du Paléozoïque, alors que le calcaire est dominant dans les unités carbonatées des âges mésozoïque et cénozoïque.

1. **Les calcaires**

1.1 Minéralogie

1.1.1 Principaux groupes de carbonates

- ✓ Les roches carbonatées sont appelées ainsi parce qu'elles sont composées principalement de minéraux carbonatés.
- ✓ Ces minéraux à leur tour détiennent leurs noms de l'anion carbonate (CO_3^{2-}), qui est une partie fondamentale de leur structure.
- ✓ L'anion carbonate CO_3^{2-} se combine à des cations tels que Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Zn^{2+}, Sr^{2+}, Ba^{2+}, Pb^{2+}, … pour former des minéraux carbonatés communs.



Les minéraux carbonatés communs forment trois groupes principaux:

① le groupe de la calcite;
② le groupe de la dolomite;
③ et le groupe de l'aragonite.

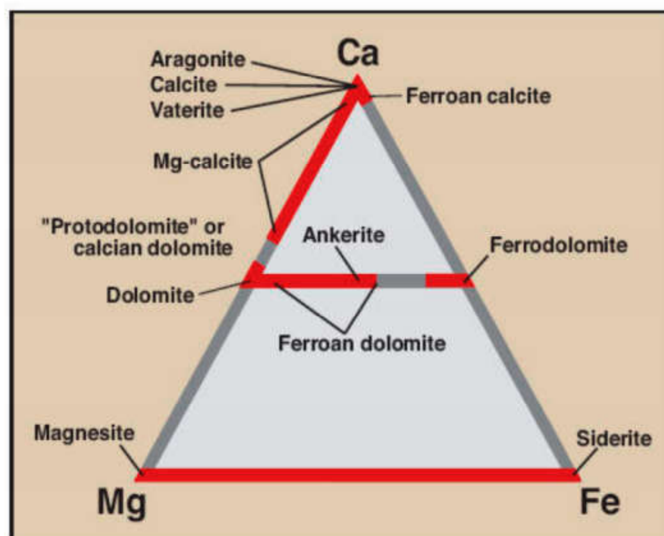
Les minéraux des groupes de la calcite et de la dolomite appartiennent au système cristallin rhomboédrique (trigonal) et ceux du groupe de l'aragonite au système orthorhombique.

- ✓ Les cations avec un petit rayon ionique comme le Mg(0,66Å), Fe(0,74Å), Mn(0,80Å), Zn(0,74Å) et Cu(0,72Å) sont favorisés dans les structures rhomboédriques (calcite)
- ✓ Les cations plus grands, comme le Sr(1,12Å), le Pb(1,20Å) et le Ba(1,34Å), sont favorisés dans les structures orthorhombiques (aragonite)
- ✓ Le calcium du fait que son rayon ionique (0.99 Å) intermédiaire peut former du CaCO3 rhomboédrique (calcite) ou orthorhombique (aragonite).
- ✓ Les minéraux du groupe de la dolomite sont des carbonates doubles (contiennent en plus du cation Ca^{2+} le cation Mg^{2+} et/ou le cation Fe^{2+}).

Minéraux carbonatés communs

Calcite group (hexagonal)		Aragonite group (orthorhombic)	
Calcite	$CaCO_3$	Aragonite	$CaCO_3$
Magnesite	$MgCO_3$	Witherite	$BaCO_3$
Siderite	$FeCO_3$	Strontianite	$SrCO_3$
Rhodochrosite	$MnCo_3$	Cerussite	$PbCO_3$
Smithsonite	$ZnCO_3$	Dolomite group (hexagonal)	
Monoclinic carbonates with (OH) –		Dolomite	$CaMg(CO_3)_2$
		Ankerite	$CaFe(CO_3)_2$
Malachite	$Cu_2CO_3(OH)_2$		
Azurite	$Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$		

Les carbonates rhomboédraux de type calcite communs comprennent la magnésite ($MgCO_3$), la rhodochrosite ($MnCO_3$), la sidérite ($FeCO_3$) et la smithsonite ($ZnCO_3$). Les carbonates orthorhombiques du type aragonite comprennent la strontianite ($SrCO_3$), la witherite ($BaCO_3$) et la cerrusite ($PbCO_3$).



Répartition des Minéraux carbonatés communs dans le diagramme Ca-Mg-Fe



La calcite et l'aragonite sont des **polymorphes**. Elles ont la **même composition chimique**, mais des **systèmes cristallins différents**: la calcite est rhomboédrique (trigonale), alors que l'aragonite est orthorhombique.

1.1.2 Substitution ionique dans les minéraux carbonatés

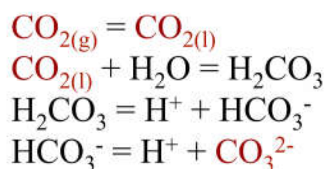
- ✓ La substitution du Ca^{2+} (Ri 0.099 nm) par Mg^{2+} (Ri 0.072 nm) est assez fréquent. La calcite contenant plus de 4 mol% $MgCO_3$ est appelée calcite magnésienne (Mg-calcite). La calcite moins de 4 mol% $MgCO_3$ est appelée calcite faiblement magnésienne ou tout simplement calcite.
- ✓ Dans la dolomite, l'ion ferreux (Ri 0.078 nm) peut remplacer le Mg et la phase dolomitique la plus riche en fer est appelée ankérite et la moins riche en fer dolomite ferrifère (ferroan dolomite).

1.1.3 Stabilité des minéraux carbonatés

- ✓ Solubilité: Calcite < aragonite < Mg-calcite
- ✓ La solubilité de la Mg-calcite (la calcite à haute teneur en Mg) varie avec le taux de substitution du Ca^{2+} par Mg^{2+} dans la structure cristalline de la calcite
- ✓ L'aragonite le polymorphe de haute pression du carbonate de calcium aux conditions de pression actuelle de la surface de la terre, il est métastable. La calcite est moins soluble (plus stable) que l'aragonite dans la plupart des fluides à la surface de la terre.



Le système du CO_2 dans l'eau de mer



$CO_{2(g)} = CO_{2(l)}$
$CO_{2(l)} + H_2O = H_2CO_3$
$H_2CO_3 = H^+ + HCO_3^-$
$HCO_3^- = H^+ + CO_3^{2-}$

g = gazeux
l = liquide

Augmentation de la température

- ✓ La diminution de CO_2 a lieu parce que les gaz sont moins solubles dans l'eau chaude que froide ==> diminution de la solubilité de $CaCO_3$.

Agitation

- L'agitation du fluide peut libérer du CO_2 qui en excès par rapport à celui qui pourait être en équilibre avec le CO_2 atmosphérique. L'action des vagues est importante dans ce cas.
- Ceci est similaire à secouer une bouteille d'eau gazeuse.

Augmentation de la salinité

- Le CO_2 est moins soluble dans les eaux salines que dans les eaux douces.
- La salinité augmente normalement par évaporation qui non seulement conduit à la perte de CO_2, mais aussi augmente le Ca^{2+} et le CO_3^{2-} restés dans le fluide.
- Ceci augmente aussi le potentiel pour la précipitation minérale.

Activité biochimique

- Par exemple, durant la photosynthèse le CO_2 est prélevé de l'environnement pour fournir du carbone organique (ex. les algues) et l'oxygène est relâché.
- Les carbonates sont en général produits directement ou indirectement par l'activité d'organismes.
- La réaction inverse — le pourrissement de la matière organique — conduit à la dissolution du carbonate et la production de porosité.

La plupart de la précipitation du carbonate est soit directement ou indirectement le produit de l'activité d'organismes

1.1.4 Minéralogie des carbonates secrétés par les organismes

Les restes squelettiques des organismes secrétant le carbonate de calcium sont un composant important de plusieurs calcaires.
Ces restes squelettiques peuvent être de l'aragonite, de la calcite ou de la calcite magnésienne contenant jusqu'à 30 moles % de $MgCO_3$.

Exemples:

- ✓ les mollusques sont composés d'aragonite, bien que certains (ex. les gastéropodes) sont composés de calcite;
- ✓ les échinodermes sont composés de Mg-calcite et les foraminifères sont composés de calcite ou de Mg-calcite;
- ✓ certains groupes d'organismes peuvent construire un squelette avec à la fois l'aragonite et la calcite.



Trochotoma acuminata



Ampullospira








poppeimages





1.1.4 Minéralogie des carbonates secrétés par les organismes (suite)

Noter que la composition minéralogique des organismes calcaires peut changer au cours de l'enfouissement diagénétique:

- ✓ l'aragonite dans les grains squelettiques se transforme avec le temps en calcite;
- ✓ la calcite magnésienne peut perdre son magnésium et s'altérer en calcite ou gagner du Mg et former de la dolomite.

1.1.5 Composants non carbonatées

- ✓ Les roches carbonatées contiennent des quantités variables de minéraux non carbonatés (généralement <5%).
- ✓ Les minéraux non carbonatés peuvent inclurent des minéraux silicatés (quartz, silice, feldspaths, micas, Mnx argileux et Mnx lourds). Les minéraux argileux sont abondants dans certains carbonates.
- ✓ On trouve également: fluorine, célestine, zéolites, oxydes de fer, anhydrite et pyrite.

1.1.5 Composants non carbonatées (suite)

- ✓ Pour les étudier les Mnx non carbonatés sont souvent extraits de la roches par un traitement à l'acide. On parle de résidus insolubles.
- ✓ La plupart de ces minéraux sont probablement d'origine détritique; Bien que certains comme la silice, la pyrite, les oxydes de fer et l'anhydrite peuvent se former durant la diagenèse.
- ✓ Les roches carbonatées peuvent contenir aussi des restes végétaux minuscules et de la matière organique animale.

1.1.6 Conclusion

- ✓ Parmi tous les minéraux carbonatés, seuls la calcite, la dolomite et l'aragonite sont des minéraux importants dans les roches calcaires et dolomitiques.
- ✓ De plus, l'aragonite est importante seulement dans les roches carbonatées du Cénozoïque et dans les sédiments actuels.
- ✓ La sidérite et l'ankérite sont fréquent comme ciments et concrétions dans certaines roches sédimentaires.

Module 21
Pétrographie sédimentaire

Chapitre II

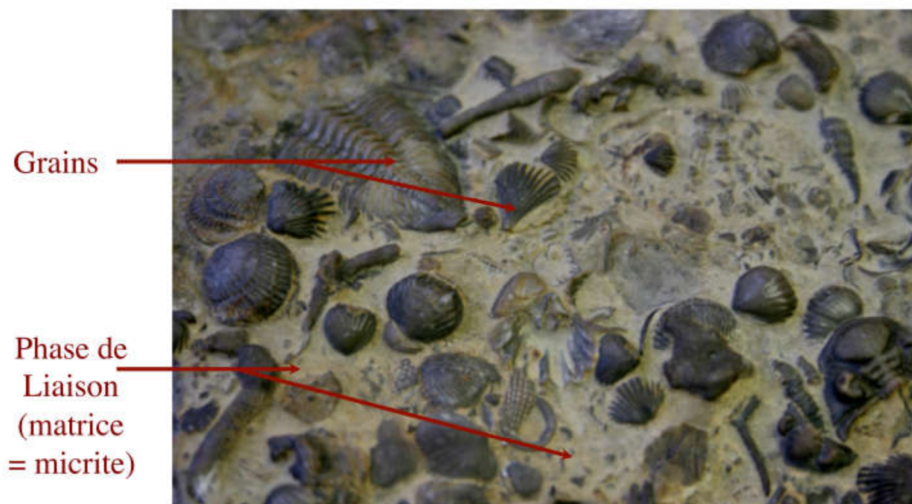
Roches d'origine chimique et biochimique

Plan

1.2 Composants majeurs des calcaires

Grains

Phase de Liaison (matrice = micrite)

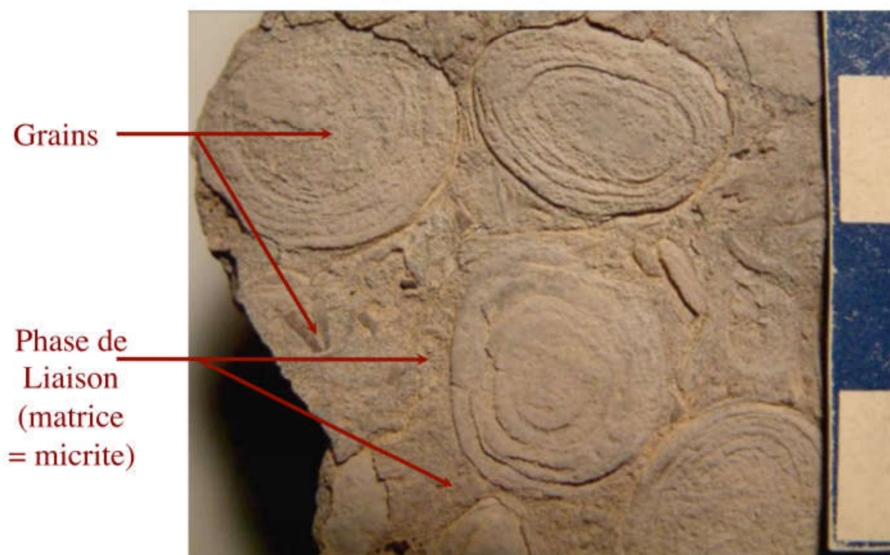


Calcaire à trilobites et brachiopodes

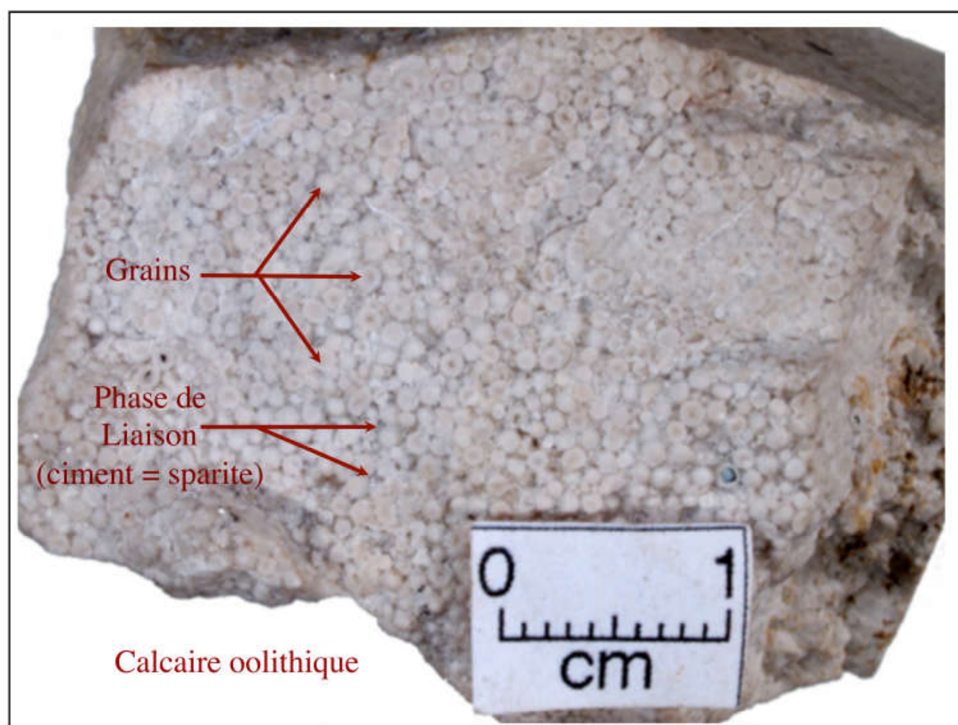
1.2 Composants majeurs des calcaires

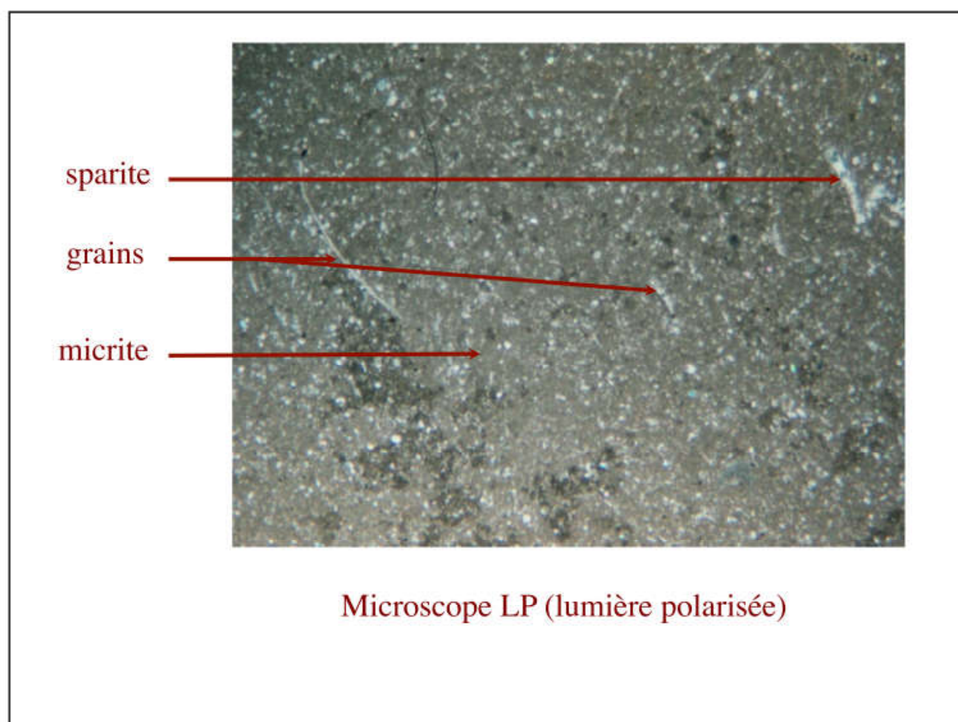
Grains

Phase de Liaison (matrice = micrite)

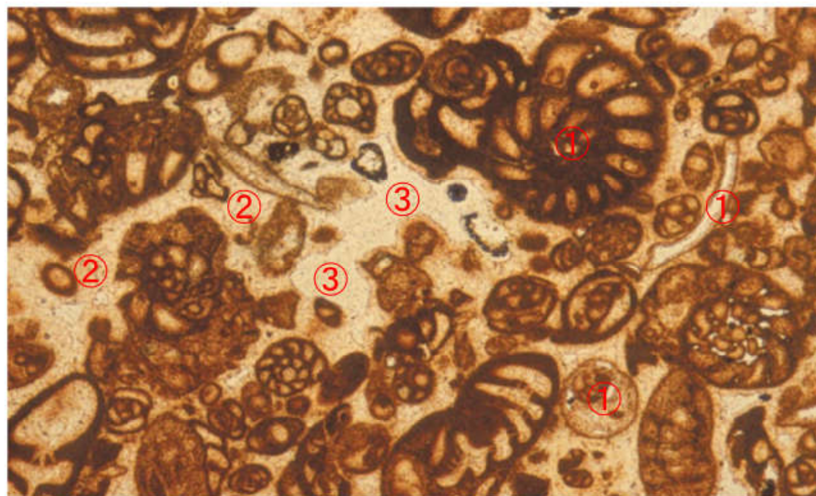


Calcaire à oncolithes



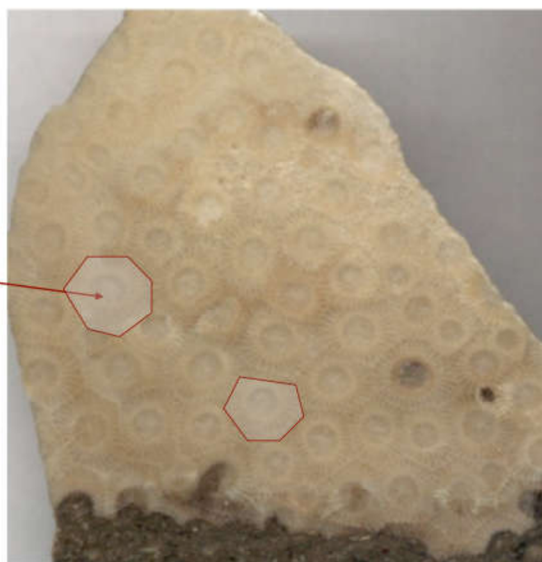


Microscope LP (lumière polarisée)

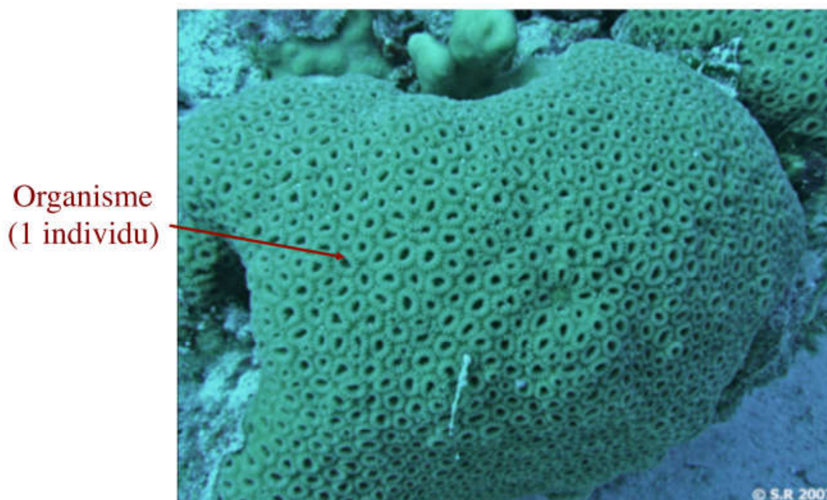


Microscope LN (lumière naturelle)

① Grains
② Phase de liaison = ciment = sparite
③ Vide



Calcaire bioconstruit (colonie de polypiers)



Un cnidaire madrépore actuel

Plan

Introduction

Chapitre I : Modes de genèse et classifications des roches sédimentaires.

Chapitre II : Roches d'origine chimique et biochimique.

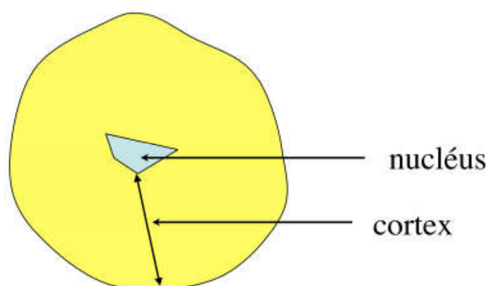
- **A. Roches carbonatées**
  - 1. **Les Calcaires**
    - 1.1 Minéralogie
    - 1.2 Composants majeurs des calcaires
      - 1.2.1 Grains non squelettiques (origine non biologiques)
        - a Grains non squelettiques avec nucléus
        - b Grains non squelettiques sans nucléus
        - c Grains composés

1.2.1 Grains non squeletiques (G.N.S.)

- ✓ Contiennent un nucléus ou non.
- ✓ Peuvent être simples ou composés.
- ✓ Résultent de processus mécanique, biochimique et physicochimique au sein du bassin de sédimentation
- ✓ Dépendent donc du milieu de sédimentation et peuvent aider à son interprétation.

1.2.1 Grains non squeletiques (G.N.S.)

a - G.N.S. avec nucléus



Deux éléments de base:

① un nucléus;

② un cortex qui est l'élément critique.

Plan

Introduction

Chapitre I : Modes de genèse et classifications des roches sédimentaires.

Chapitre II : Roches d'origine chimique et biochimique.

A. Roches carbonatées

1. **Les Calcaires**

1.1 Minéralogie

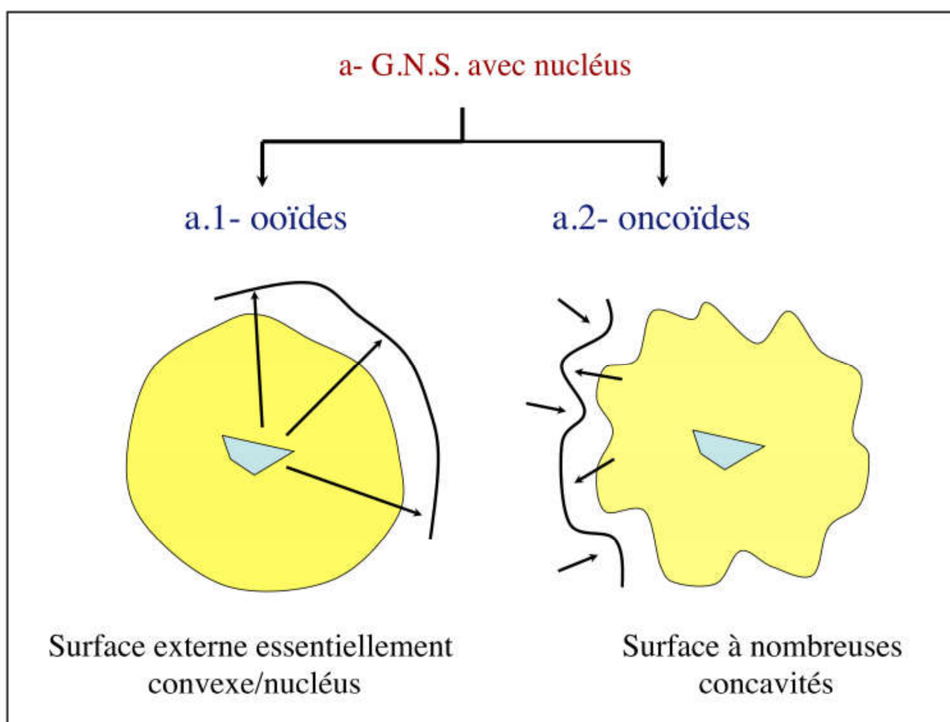
1.2 Composants majeurs des calcaires

1.2.1 Grains non squelettiques (origine non biologiques)

a Grains non squelettiques avec nucléus

a.1 ooïdes

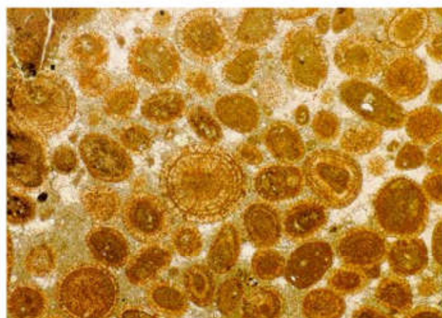
a.2 oncoïdes



a - G.N.S. avec nucléus

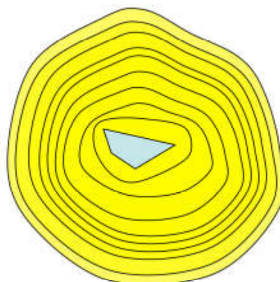
a.1- ooïdes

a.2- oncoïdes





a.1- ooïdes



Caractérisées par un cortex à laminations concentriques et régulières

Les ooïdes diffèrent par :

1. Présence de microvégétaux ;
2. Taille ;
3. Forme ;
4. Épaisseur et type de la lamination du cortex.

- Les microvégétaux (algues) sont présents parfois dans le cortex des ooïdes marines

- La taille:
- ✓ Ooïdes marines sont rarement > 1 mm;
- ✓ Ooïdes des grottes & mines > +ieurs mm;
- ✓ Ooïdes > 2 mm = pisolithes.

- La forme:
- ✓ Ovoïde: rotation mécanique;
- ✓ Irrégulière: nucléus stable.

- Epaisseur du cortex dépend de:
- ✓ la saturation des eaux en carbonates (les ooïdes des eaux légèrement profondes sont de petite taille);
- ✓ La taille du nucléus.

Plan

Introduction

Chapitre I : Modes de genèse et classifications des roches sédimentaires.

Chapitre II : Roches d'origine chimique et biochimique.

- **A. Roches carbonatées**
  - 1. **Les Calcaires**
    - 1.1 Minéralogie
    - 1.2 Composants majeurs des calcaires
      - 1.2.1 Grains non squelettiques (origine non biologiques)
        - a Grains non squelettiques avec nucléus
          - a.1 ooïdes
            - a.1.1 Oolithes
              - - Différents types d'oolithes
              - - Origine des oolithes
            - a.1.2 Sphérulites
            - a.1.3 Bahamites

a.1.1 Oolithes
Différents types d'oolithes







Oolithes type α

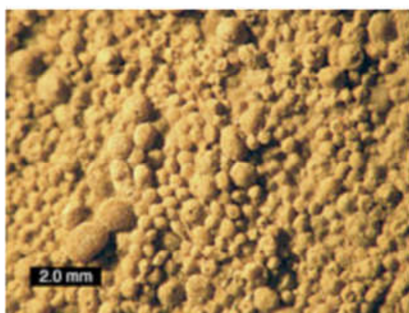
- La morphologie du nucléus régularisée par la lamination corticale
- Oolithes marine des eaux agitées

Oolithes type β

- La morphologie du nucléus est conservée
- Oolithes marines des milieux abrités et des grottes non marines

Oolithes type γ

- Lamination localisée sur un côté du nucléus
- Oolithes marines des milieux abrités

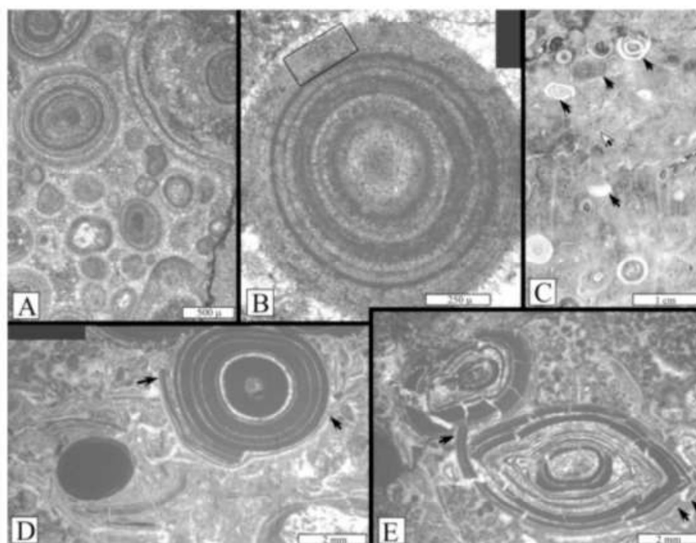


Ooïdes à la surface d'un banc calcaire



Ooïdes actuels (Bahamas)

Source des photos: http://en.wikipedia.org/wiki/Oolite



Oolithes du Trias inférieur de Chine

Source: http://aapgbull.geoscienceworld.org/content/96/8/1389.abstract

a.1.1 Oolithes
Origine des oolithes marines

Trois théories expliquent l'origine des oolithes:

① Origine mécanique: agglomération de boue carbonatée à un nucléus en rotation.

② Origine biochimique: action directe ou indirecte des bactéries et microalgues.

③ Origine physicochimique (la + admise): accroissement purement chimique des grains non marins

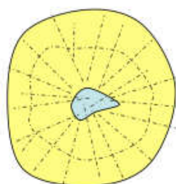


Les oolithes marines se forment dans des milieux de faible profondeur.



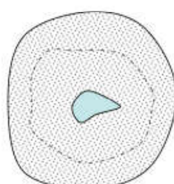
Ooïdes sur le plancher d'une grotte

a.1.2 Sphérulithes

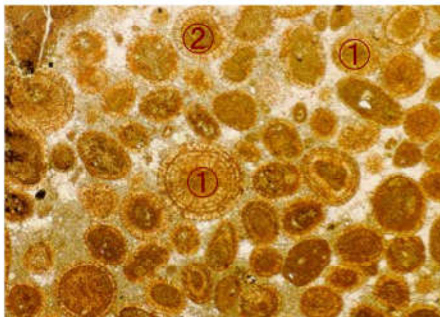


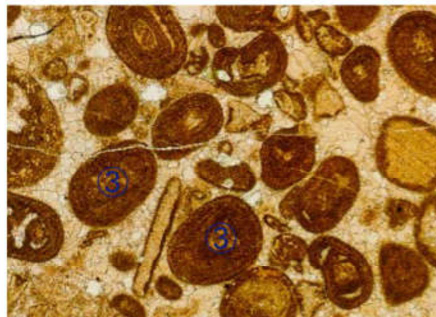
- ✓ Cortex à structure essentiellement radiaire qui traverse la lamination concentrique
- ✓ Origine plutôt diagénétique

a.1.3 Bahamites



- ✓ Cortex micritique sans structure nette
- ✓ Aspect homogène du cortex peut être primaire ou secondaire





Ooïdes avec un développement de structures:

① concentriques (oolithes α)

② radiales (sphérulithes)

③ Ooïdes avec une structure concentrique faiblement préservée (bahamites)

Plan

Introduction

Chapitre I : Modes de genèse et classifications des roches sédimentaires.

Chapitre II : Roches d'origine chimique et biochimique.

A. Roches carbonatées

1. **Les Calcaires**

1.1 Minéralogie

1.2 Composants majeurs des calcaires

1.2.1 Grains non squelettiques (origine non biologiques)

a Grains non squelettiques avec nucléus

a.1 Ooïdes

a.2 Oncoïdes

a.2.1 Oncolithes (Rhodolithes)

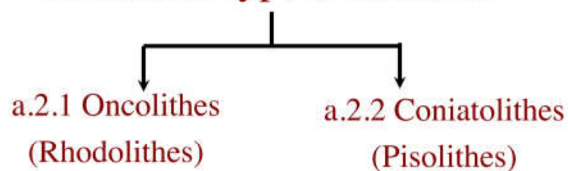
a.2.2 Coniatolithes (Pisolithes)

a.2- Oncoïdes



- Surface essentiellement irrégulière.
- La taille d'un gravier (> 2mm).
- Les laminations corticales sont souvent irrégulières et discontinues.

Différents type d'oncoïdes



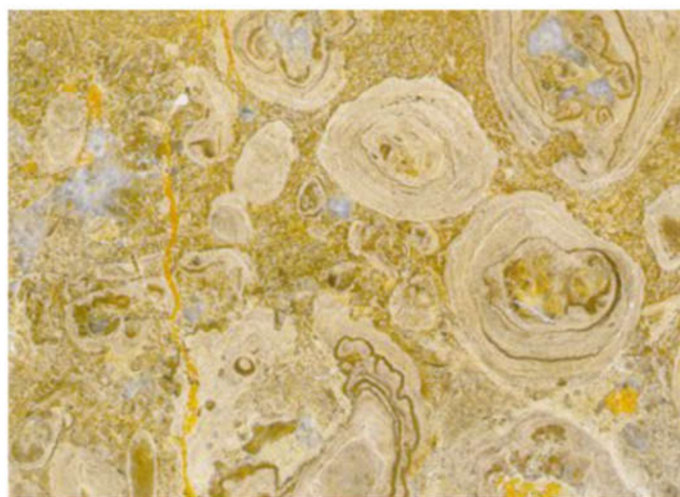
a.2.1 Oncolithes (Rhodolithes)

a.2.2 Coniatolithes (Pisolithes)

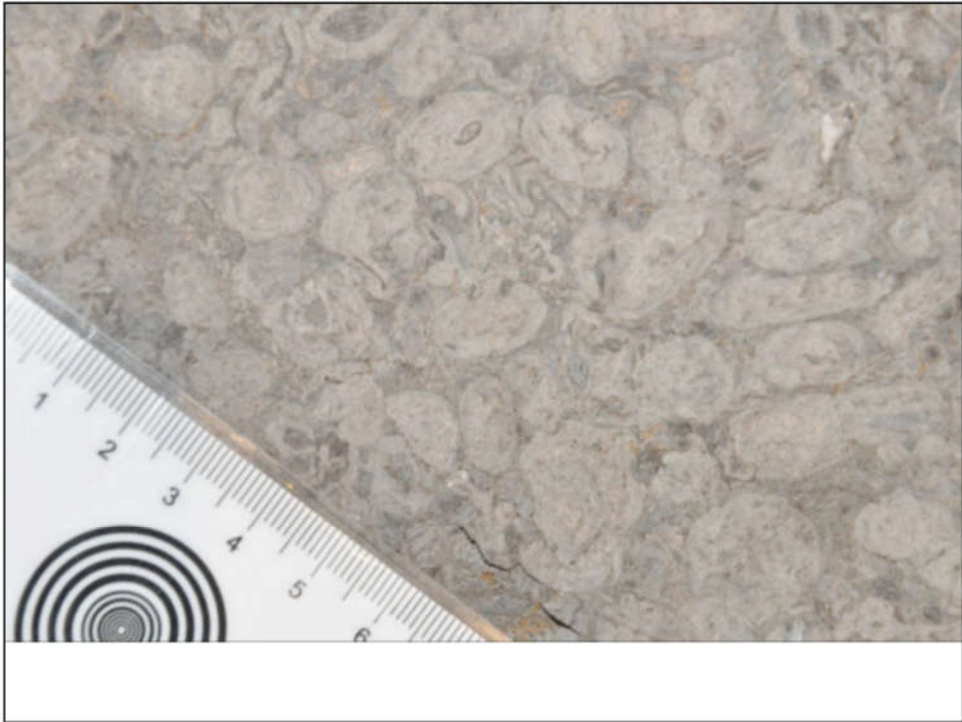
a.2.1 Oncolithes



- ✓ Enrobage (revêtement) du nucléus par des algues (cyanophycées & cyanobactéries)
- ✓ Encroûtement par la micrite
- ✓ Dans les milieux marins et lacustres de faible énergie



Remarquer la taille des grains, la croissance asymétrique et la nature onduleuse de plusieurs laminae = caractéristiques des oncoïdes

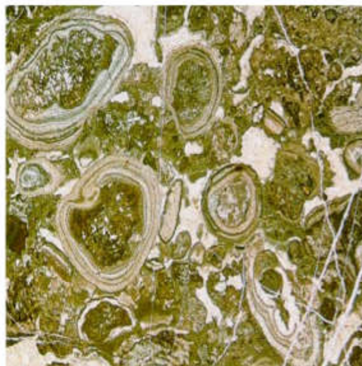




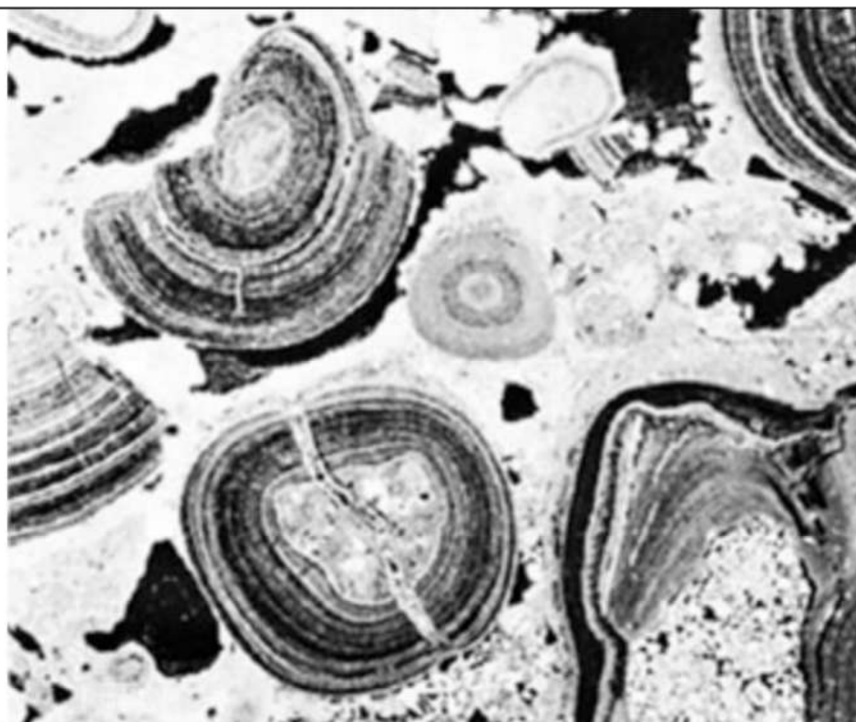




a.2.2- Pisolithes



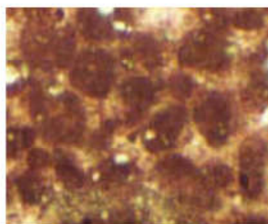
- ✓ Cortex laminé enrobant des clastes
- ✓ Les couches externes peuvent être communes à plusieurs grains
- ✓ Origine généralement continentale (pédologique)
- ✓ Fréquents dans les croûtes du climat semi-aride

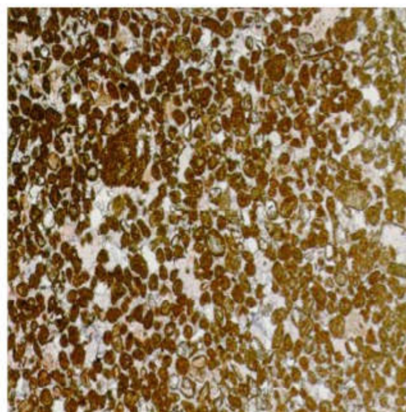




Plan

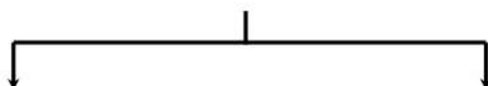
b- G.N.S. sans nucléus = pellétoïdes ou péloïdes





- ✓ Sans nucléus.
- ✓ Taille d'un sable.
- ✓ Ovoïdes ou en bâtonnet.
- ✓ Micritiques.
- ✓ Absence de structure interne en général.
- ✓ Semblent se former par micritisation des autres types de grains carbonatés ou par agglutination de boue.

b.1 Typologie



b.1.1 Pellets

Φ Typiquement 0.1 à 0.5mm

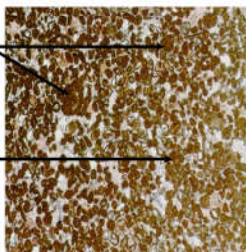
- Soit des agglomérations de micrite.
- Soit des pelotes fécale.

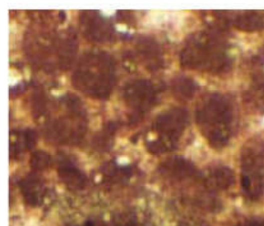
b.1.2 Gravelles

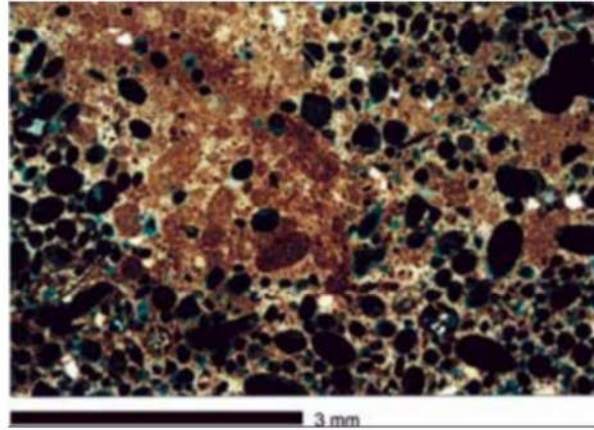
- Grains carbonatés micritisés.
- Taille de sables ou graviers.

Gravelles

Pellets

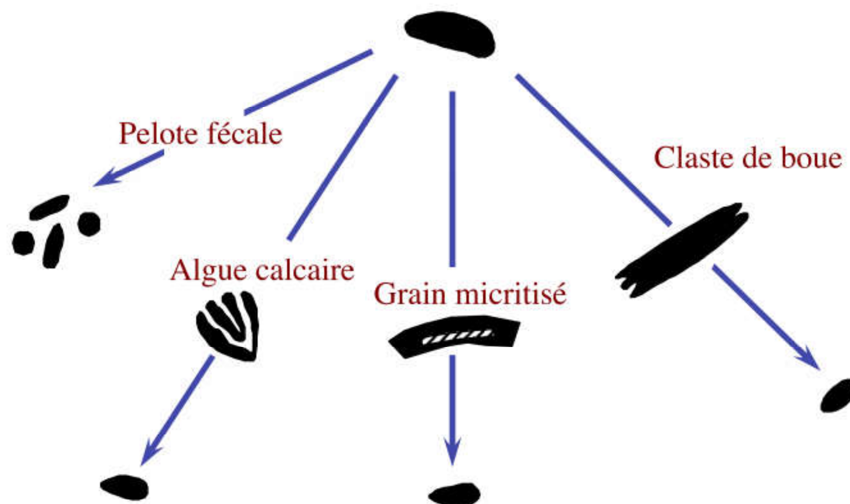


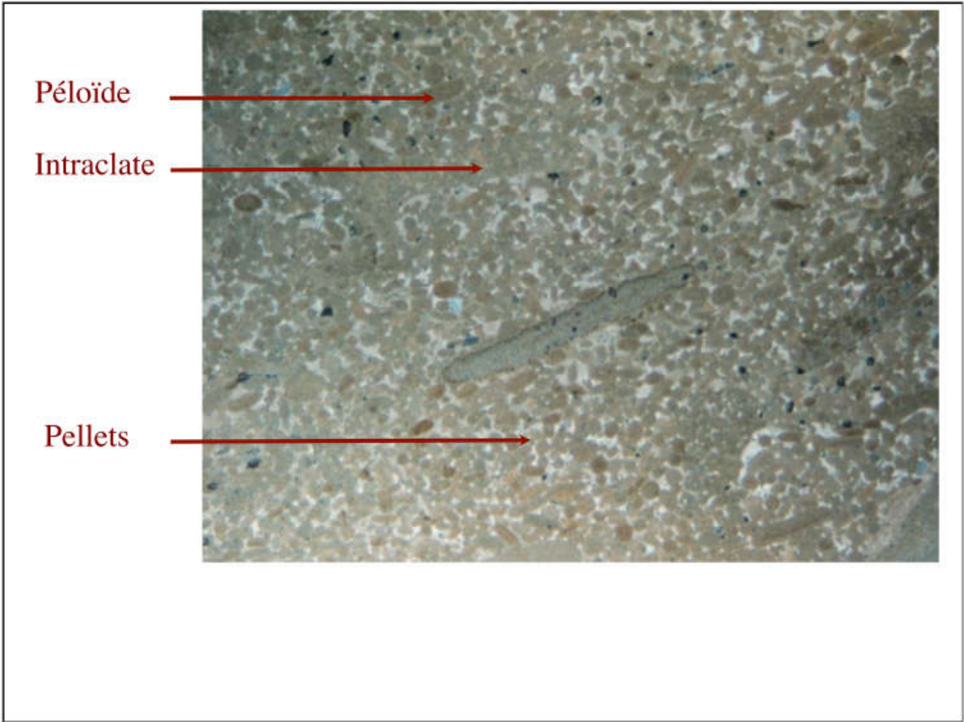


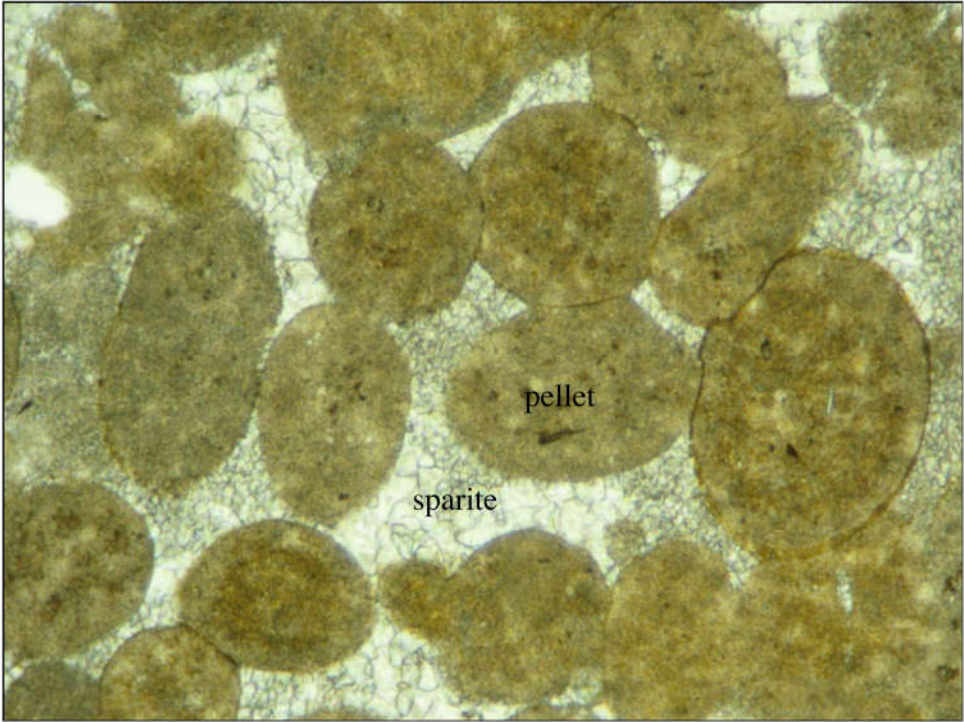


Pellets

b.2 Origine des pelletoïdes




Péloïde
Intraclate
Pellets


pellet
sparite

Plan

Introduction

Chapitre I : Modes de genèse et classifications des roches sédimentaires.

Chapitre II : Roches d'origine chimique et biochimique.

A. Roches carbonatées

1. **Les Calcaires**
    1.1 Minéralogie
    1.2 Composants majeurs des calcaires
        1.2.1 Grains non squelettiques (origine non biologiques)
            a Grains non squelettiques avec nucléus
            b Grains non squelettiques sans nucléus (péloïdes)
            c Grains non squelettiques composés
                c.1 Agrégats
                c.2 Lithoclastes

Plan

Introduction

Chapitre I : Modes de genèse et classifications des roches sédimentaires.

Chapitre II : Roches d'origine chimique et biochimique.

A. Roches carbonatées

1. **Les Calcaires**
    1.1 Minéralogie
    1.2 Composants majeurs des calcaires
        1.2.1 Grains non squelettiques (origine non biologiques)
            a Grains non squelettiques avec nucléus
            b Grains non squelettiques sans nucléus (péloïdes)
            c Grains non squelettiques composés
                c.1 Agrégats

                    c.1.1 Grapestones
                    c.1.2 Lumps
                    c.1.3 Boules de boue

c.1- Agrégats

Grains composés par agrégation

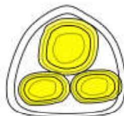
c.1.1- Grapestones



- ✓ Forme généralement irrégulière.
- ✓ Agglomération d'au moins deux grains simples (ex. ooïdes).
- ✓ Début de lithification en milieu peu agité.

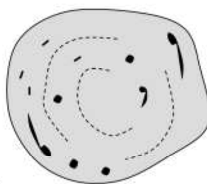


c.1.2- Lumps = oolithes composés



Plusieurs grains entourés d'un cortex continu oolithique.

c.1.3- Boules de boue



- ✓ Relativement rares.
- ✓ Grains de sables dispersés dans la boule ou à sa périphérie.
- ✓ Origine mécanique.

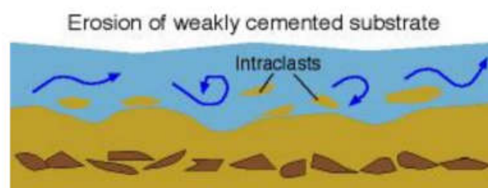
Plan

c.2- Lithoclastes

- ✓ Morphologie angulaire svt applatie ou arrondie.
- ✓ Surface externe tronque les éléments internes.
- ✓ Résultent de la désintégration de calcaires préexistants.

c.2.1- endoclastes = intraclastes

- ✓ Grains et gangue d'âges contemporains (compositions similaires).
- ✓ Origine synsédimentaire.
- ✓ Zone inter- et supratidale par désintégration mécanique de plage lithifiées ou partiellement lithifiées.





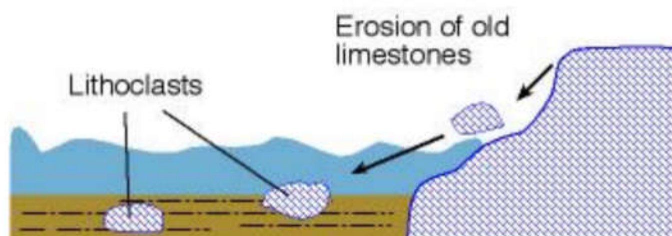
Intraclastes

Un intraclaste est un claste à l'intérieur d'une roche carbonatée formé par la fragmentation, le transport et le dépôt d'un sédiment carbonaté lithifié ou semilithifié. Le mot intraclaste implique que celui-ci et le sédiment carbonaté qui le contient se sont **déposés de manière contemporaine**.

Les intraclastes se forment par fragmentation de sédiments qui se sont lithifiés rapidement et ce dans un environnement ou au cours d'un événement de **haute énergie** tels que la zone tidale ou des événements de tempêtes. Ils sont transportés au site de dépôt par les courants.

c.2.2- Exoclastes = extraclastes

Le mot extraclaste est définit comme un claste provenant d'un calcaire plus ancien.



Plan

Introduction

Chapitre I : Modes de genèse et classifications des roches sédimentaires.

Chapitre II : Roches d'origine chimique et biochimique.

A. **Roches carbonatées**
   1. **Les Calcaires**
      1.1 Minéralogie
      1.2 Composants majeurs des calcaires
         1.2.1 Grains non squelettiques (origine non biologiques)
         1.2.2 Grains squelettiques

1.2.2- Grains squelettiques

- ✧ Grains sq = restes fossiles (squelettes) des organismes.
- ✧ La plupart des grains sq dans les roches carbonatées sont formés par de la calcite et/ou de l'aragonite.
- ✧ Mais aussi des parties squelettiques siliceuses (ex. radiolaires) et phosphatées.
- ✧ Les grains sq les + communs:

① les mollusques (bivalves, gastéropodes, céphalopodes);
② les brachiopodes,
③ les échinodermes (échinides, crinoides);
④ les coraux;
⑤ les bryozoaires;
⑥ les annélides;
⑦ les algues calcaires;
⑧ foraminifères.







1.2.2- Grains squelettiques

- ✧ Grains sq = restes fossiles (squelettes) des organismes.
- ✧ La plupart des grains sq dans les roches carbonatées sont formés par de la calcite et/ou de l'aragonite.
- ✧ Mais aussi des parties squelettiques siliceuses (ex. radiolaires) et phosphatées.
- ✧ Les grains sq les + communs:

① les mollusques (bivalves, gastéropodes, céphalopodes);
② les brachiopodes,
③ les échinodermes (échinides, crinoides);
④ les coraux;
⑤ les bryozoaires;
⑥ les annélides;
⑦ les algues calcaires;
⑧ foraminifères.



1.2.2- Grains squelettiques

✧ Grains sq = restes fossiles (squelettes) des organismes.

✧ La plupart des grains sq dans les roches carbonatées sont formés par de la calcite et/ou de l'aragonite.

✧ Mais aussi des parties squelettiques siliceuses (ex. radiolaires) et phosphatées.

✧ Les grains sq les + communs:

① les mollusques (bivalves, gastéropodes, céphalopodes);

② les brachiopodes,

③ les échinodermes (échinides, crinoides);

④ les coraux;

⑤ les bryozoaires;

⑥ les annélides;

⑦ les algues calcaires;

⑧ foraminifères.





1.2.2- Grains squelettiques

✧ Grains sq = restes fossiles (squelettes) des organismes.

✧ La plupart des grains sq dans les roches carbonatées sont formés par de la calcite et/ou de l'aragonite.

✧ Mais aussi des parties squelettiques siliceuses (ex. radiolaires) et phosphatées.

✧ Les grains sq les + communs:

① les mollusques (bivalves, gastéropodes, céphalopodes);

② les brachiopodes,

③ les échinodermes (échinides, crinoides);

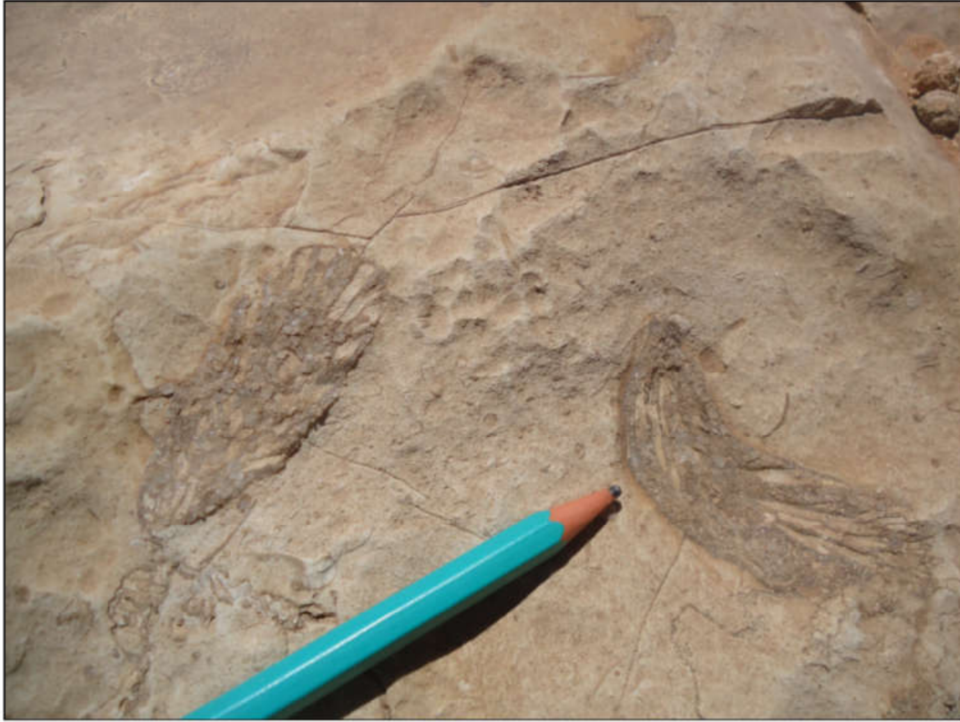
④ les coraux;

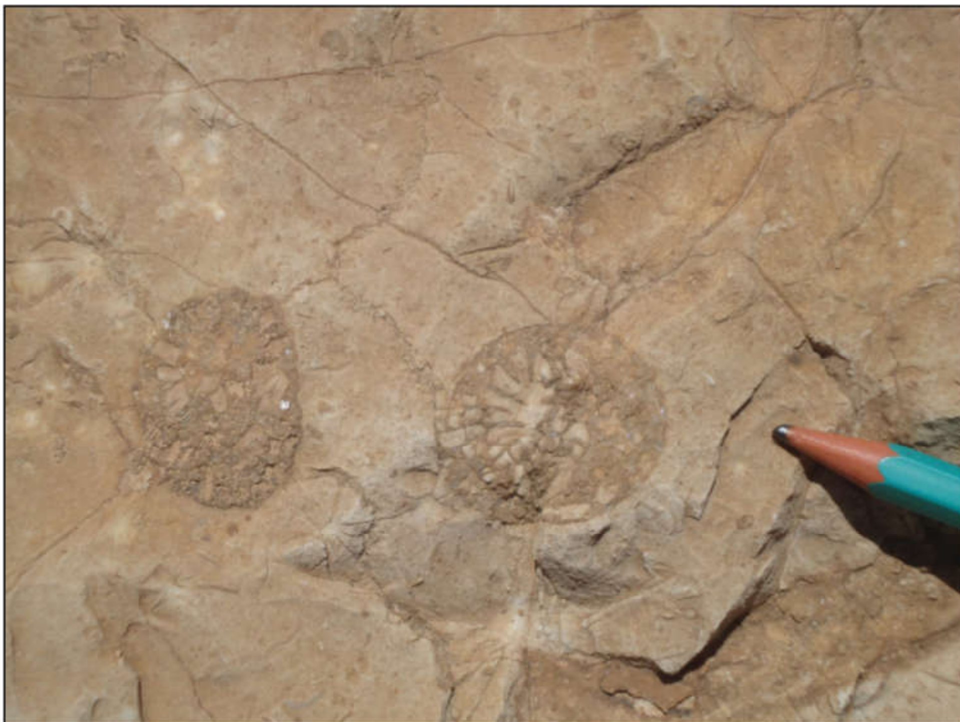
⑤ les bryozoaires;

⑥ les annélides;

⑦ les algues calcaires;

⑧ foraminifères.





1.2.2- Grains squelettiques

✧ Grains sq = restes fossiles (squelettes) des organismes.

✧ La plupart des grains sq dans les roches carbonatées sont formés par de la calcite et/ou de l'aragonite.

✧ Mais aussi des parties squelettiques siliceuses (ex. radiolaires) et phosphatées.

✧ Les grains sq les + communs:

① les mollusques (bivalves, gastéropodes, céphalopodes);
② les brachiopodes,
③ les échinodermes (échinides, crinoides);
④ les coraux;
⑤ les bryozoaires;
⑥ les annélides;
⑦ les algues calcaires;
⑧ foraminifères.



1.2.2- Grains squelettiques

- ✧ Grains sq = restes fossiles (squelettes) des organismes.
- ✧ La plupart des grains sq dans les roches carbonatées sont formés par de la calcite et/ou de l'aragonite.
- ✧ Mais aussi des parties squelettiques siliceuses (ex. radiolaires) et phosphatées.
- ✧ Les grains sq les + communs:

① les mollusques (bivalves, gastéropodes, céphalopodes);
② les brachiopodes,
③ les échinodermes (échinides, crinoides);
④ les coraux;
⑤ les bryozoaires;
⑥ les annélides;
⑦ les algues calcaires;
⑧ foraminifères.



1.2.2- Grains squelettiques

✧ Grains sq = restes fossiles (squelettes) des organismes.

✧ La plupart des grains sq dans les roches carbonatées sont formés par de la calcite et/ou de l'aragonite.

✧ Mais aussi des parties squelettiques siliceuses (ex. radiolaires) et phosphatées.

✧ Les grains sq les + communs:

① les mollusques (bivalves, gastéropodes, céphalopodes);
② les brachiopodes,
③ les échinodermes (échinides, crinoides);
④ les coraux;
⑤ les bryozoaires;
⑥ les annélides;
⑦ les algues calcaires;
⑧ foraminifères.



1.2.2- Grains squelettiques

✧ Grains sq = restes fossiles (squelettes) des organismes.

✧ La plupart des grains sq dans les roches carbonatées sont formés par de la calcite et/ou de l'aragonite.

✧ Mais aussi des parties squelettiques siliceuses (ex. radiolaires) et phosphatées.

✧ Les grains sq les + communs:

① les mollusques (bivalves, gastéropodes, céphalopodes);

② les brachiopodes,

③ les échinodermes (échinides, crinoides);

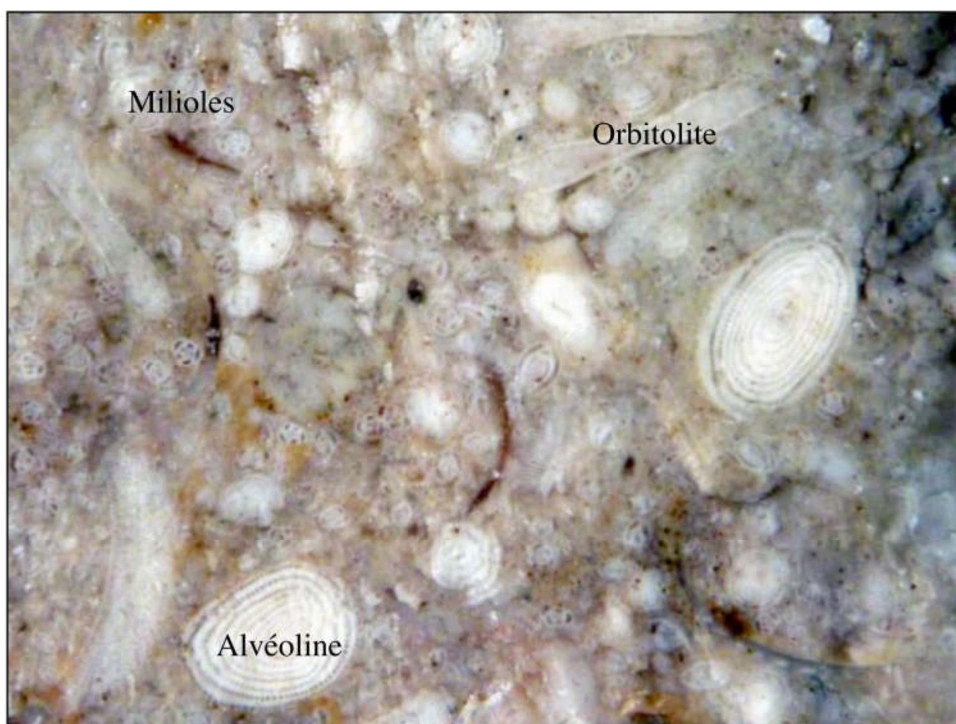
④ les coraux;

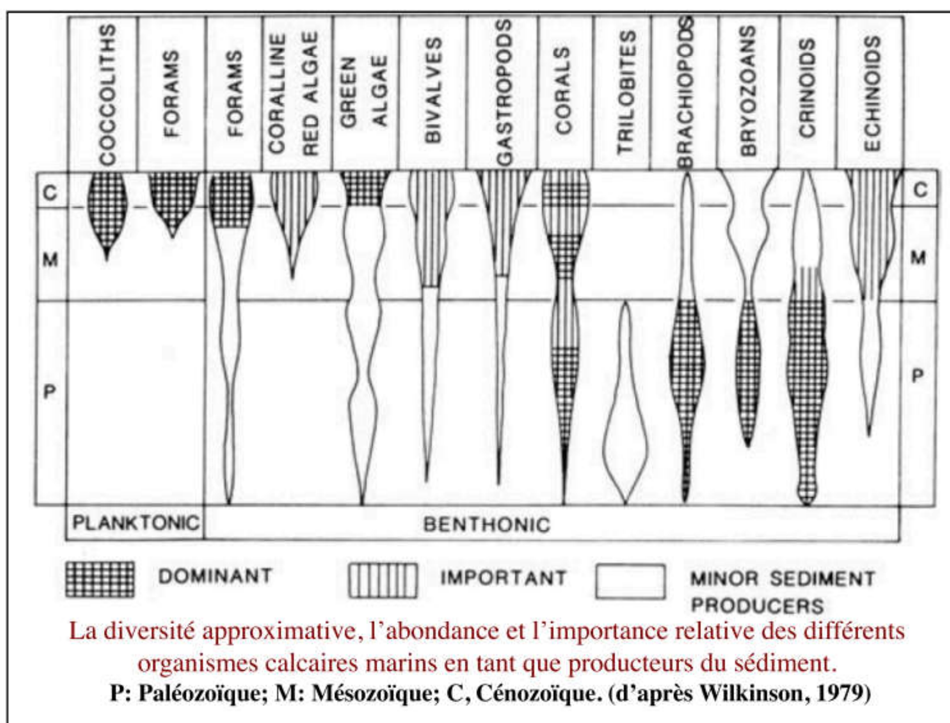
⑤ les bryozoaires;

⑥ les annélides;

⑦ les algues calcaires;

⑧ foraminifères.





La diversité approximative, l'abondance et l'importance relative des différents organismes calcaires marins en tant que producteurs du sédiment.

P: Paléozoïque; M: Mésozoïque; C, Cénozoïque. (d'après Wilkinson, 1979)

Plan

Introduction

Chapitre I : Modes de genèse et classifications des roches sédimentaires.

Chapitre II : Roches d'origine chimique et biochimique.

- **A. Roches carbonatées**
  - 1. **Les Calcaires**
    - 1.1 Minéralogie
    - 1.2 Composants majeurs des calcaires
      - 1.2.1 Grains non squelettiques (origine non biologiques)
      - 1.2.2 Grains squelettiques (issus d'organismes)
      - 1.2.3 Carbonate microcristallin (matrice)

1.2.3 Calcite microscristalline (matrice boue)

- ✓ Matrice = fraction <62µm (sédiment fin)
- ✓ Matrice carbonatée = micrite
- ✓ Presque tjrs modifiée par la diagenèse => peu d'intérêt pour l'interprétation du milieu de sédimentation

a- Nature de la matrice

Minéralogie (un ou +ieurs polymorphes):

① calcite non Mg;

② aragonite;

③ dolomite.

La nature du minéral précipité dépend du taux de Mg dans l'eau (rapport Mg/Ca) :

1) Mg/Ca > 5 ===> aragonite; ==> eaux marines
2) Mg/Ca < 5 ===> calcite non magnésienne. ==> eaux non marines.

Microscopie de la fraction matricielle:

1) fraction entre 10 et 62 µm = éléments d'origine biologique (microfossiles, microfragments de bioclastes);
2) fraction entre 1 et 10 µm = éléments d'origine chimique ou biologique (microcristaux);
3) fraction < 1 µm = d'origine chimique ou biologique (sans structure cristalline ni forme organique).

b- Origines de la matrice

3 origines possibles:

① par précipitation directe;

② par fragmentation des squelettes organiques (microdébris bioclastiques);

③ par dissolution des roches carbonatées à l'affleurement par les eaux de pluies (origine terrigène).

Plan

Introduction

Chapitre I : Modes de genèse et classifications des roches sédimentaires.

Chapitre II : Roches d'origine chimique et biochimique.

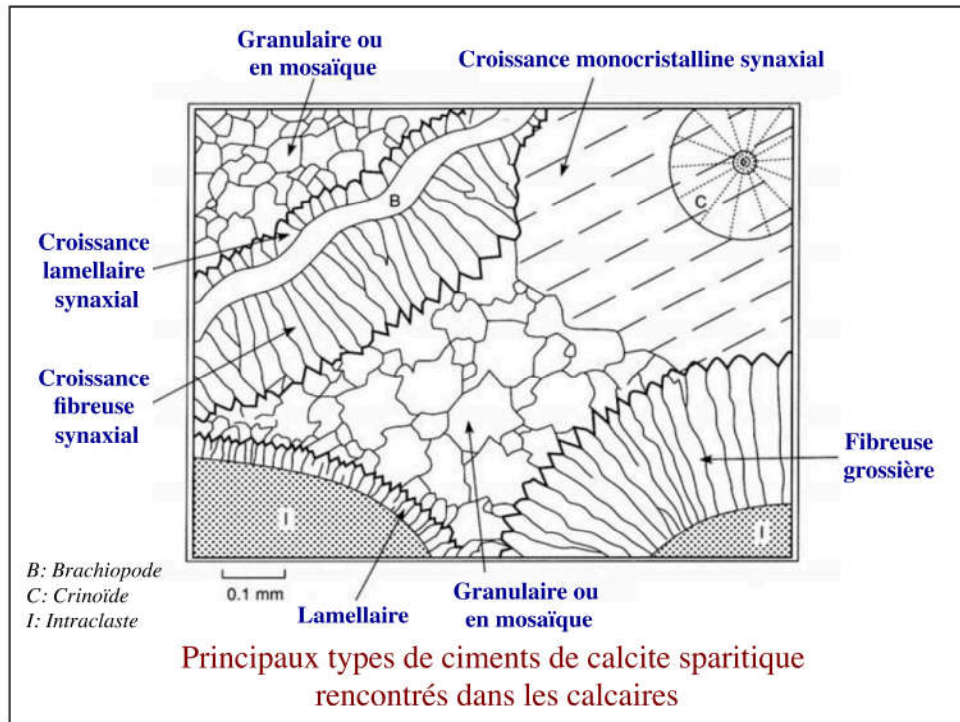
- **A. Roches carbonatées**
  - 1. **Les Calcaires**
    - 1.1 Minéralogie
    - 1.2 Composants majeurs des calcaires
      - 1.2.1 Grains non squelettiques (origine non biologiques)
      - 1.2.2 Grains squelettiques (issus d'organismes)
      - 1.2.3 Carbonate microcristallin (matrice/boue)
      - 1.2.4 Calcite sparitique (ciment)

1.2.4 Calcite sparitique (ciment)

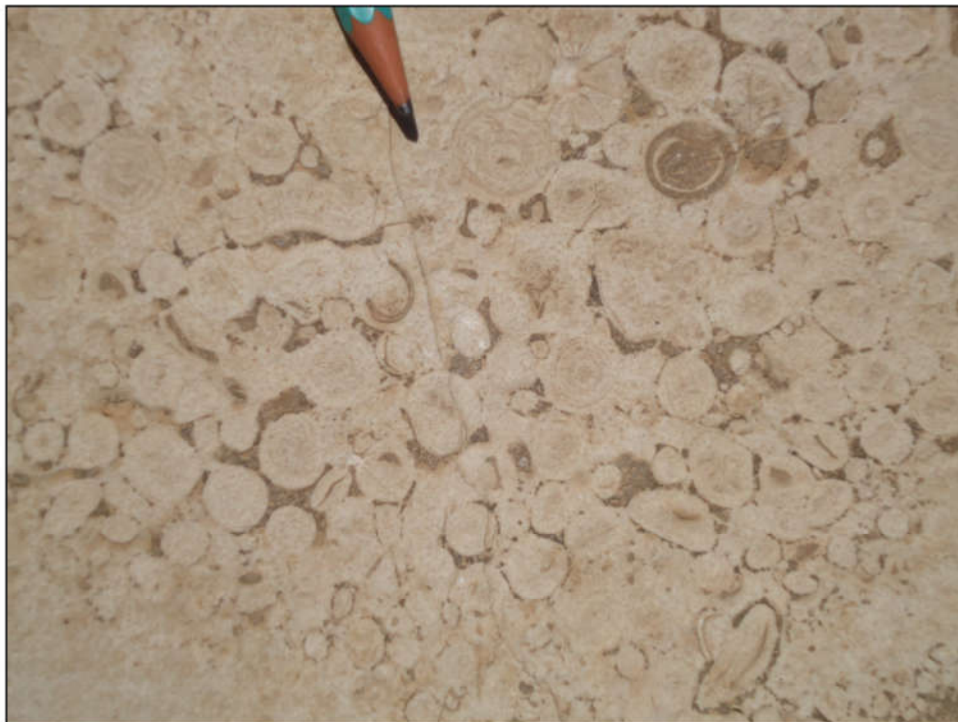
- Larges cristaux de calcite (0.02~0.1 mm).
- Apparence claire ou blanche.
- Formée au cours de la diagenèse comme :
  1) ciment;
  2) ou recristallisation de la micrite ou d'autres grains.
- La présence de calcite sparitique dans les pores montre que cet espace intergranulaire était vide au moment du dépôt.

1.2.4 Calcite sparitique (ciment)

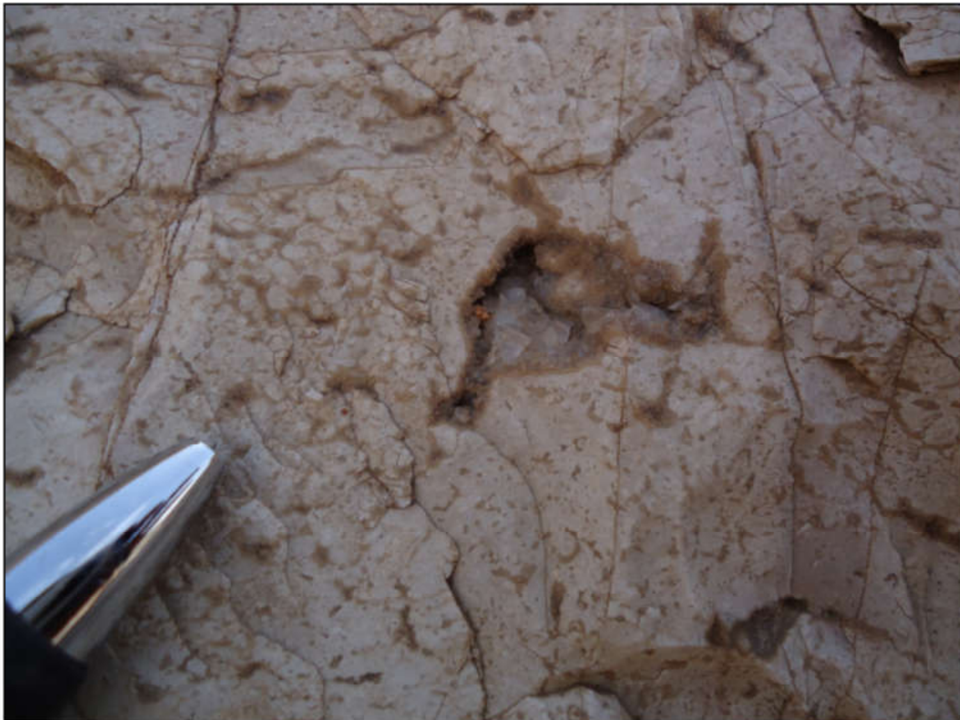
- Ciment granulaire ou en mosaïque (cristaux isogranulaires)
- Ciment fibreux (grossièrement ou finement fibreux)
- Ciment lamellaire
- Ciment syntaxial



Principaux types de ciments de calcite sparitique rencontrés dans les calcaires







Plan

Introduction

Chapitre I : Modes de genèse et classifications des roches sédimentaires.

Chapitre II : Roches d'origine chimique et biochimique.

A. **Roches carbonatées**
   1. **Les Calcaires**
      1.1 Minéralogie
      1.2 Composants majeurs des calcaires
      1.3 Classifications

1.3 Classification des roches carbonatées

Il s'agit de classifications descriptives et non génétiques

Ces classifications se basent sur:

1) nature et importance des éléments figurés;
2) nature et importance du phase de liaison;
3) texture;
4) taille des éléments.

1.3.1 Classification de Grabau

C'est une classification basée sur la taille (granulométrie des éléments)

1) ø > 2 mm: rudites ===> calcirudite
2) 2 mm > ø > 62 μm: arénites ===> calcarénite
3) ø < 62 μm: lutites ===> calcilutite

Calcaire construit = biolutite

1.3.2 Classification de Folk (1959)

C'est une classification basée sur la nature et l'importance des constituants (grains, allochems) et de la phase de liaison (orthochems).

Allochems (4 types principaux):

1) bioclastes
2) intraclastes
3) oolithes
4) Pellets

Orthochems (2 types principaux):

1) boue = micrite
2) ciment de calcite (sparite)

CLASSIFICATION FOLK (1959)

Principaux allochems	Ciment carbonatée sparitique		Matrice carbonatée Microcristalline (micrite)	
Grains Sq (bioclastes)	Biosparite			Biomicrite
Ooïdes	Oosparite			Oomicrite
Péloïdes	Pelsparite			Pelmicrite
intraclastes	Intrasparite			Intramicrite
Calcaire formé sur place	Biolithite			Dismicrite

1.3.3 Classification de Dunham (1962)

C'est une classification basée sur la texture de la roche. Elle est fondée sur 3 critères principaux:

1) présence/absence de boue carbonatée
2) proportion de grains présents dans la roche
3) Disposition des grains:

====> jointifs ou grain-supported

====> non jointifs ou mud-supported

CLASSIFICATION DUNHAM (1962)

<table>
<tr><td></td><td>Mudstone</td><td>Grains <10%</td><td rowspan="2">Mud-supported (grains non-jointifs)</td><td rowspan="3">Présence de boue carbonatée (particules < 30 μm) (micrite > 5%)</td><td rowspan="4">Composés originaux non liés organiquement durant le dépôt</td></tr>
<tr><td></td><td>Wackstone</td><td>Grains >10%</td></tr>
<tr><td></td><td>Packstone</td><td colspan="2">Grains jointifs</td></tr>
<tr><td></td><td>Grainstone</td><td colspan="2">Grains jointifs</td><td>Boue Absente (m. < 5%)</td></tr>
<tr><td></td><td>Boundstone (construite)</td><td colspan="4">Composés originaux liés organiquement durant le dépôt</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="5">Calcaire recristallisé</td></tr>
</table>

CLASSIFICATION DUNHAM (1962)

Avantages de cette classification:

1) 1. facilement utilisable sur le terrain
2) 2. donne des indications sur l'énergie du milieu (hydrodynamisme)

Module 21
Pétrographie sédimentaire

Chapitre II

Roches d'origine chimique et biochimique

Plan

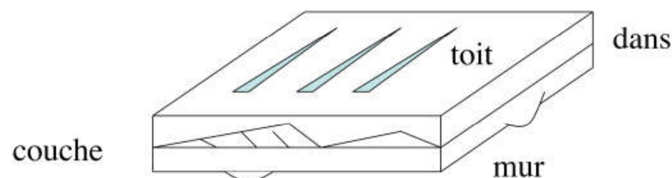
1.3 Structures sédimentaires
1.3.1 Introduction

- ✓ Ce sont des indicateurs des conditions de transport et de dépôt des sédiments
- ✓ Leur interprétation est facilitée d'une part par l'étude de la nature actuelle et d'autre part par l'expérimentation en laboratoire
- ✓ Certaines structures sédimentaires sont caractéristiques d'un environnement bien particulier, mais la plupart sont communes à plusieurs milieux de dépôt

1.3.2 Classifications

Plusieurs types de classification des structures sédimentaires basées sur:

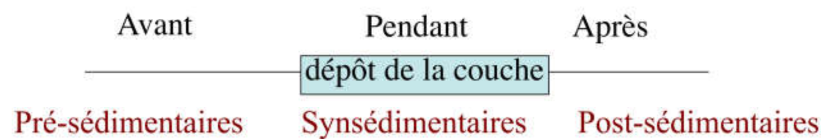
① La position des figures dans les sédiments



① La genèse

a) origine mécanique
b) origine biophysique
c) origine biologique

① L'époque de formation



Pré-sédimentaires Synsédimentaires Post-sédimentaires

1.3.3 Structures sédimentaires d'origine mécanique
a - *Formes de dépôt: Rides, mégarides et dunes*

Ce sont des formes de dépôt ("bedforms") essentiellement développées en contexte sableux.

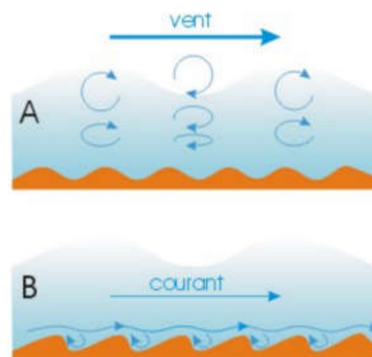
Les rides ("ripples") (mm-cm) sont très communes sur les surfaces des bancs

Les dunes et mégarides ("sand waves", "megaripples") (dcm-m) sont assez rarement préservées.

La migration latérales des dunes et rides donne naissance à différents types de stratifications obliques.

Deux grands types de rides (mm-cm):

- **les rides de vagues** (courant bidirectionnel) symétrique en coupe transversale
- **les rides de courant** (courant unidirectionnel) asymétrique ==> direction du courant (pente forte en aval, pente faible en amont)



b- Structures internes: litage et lamination

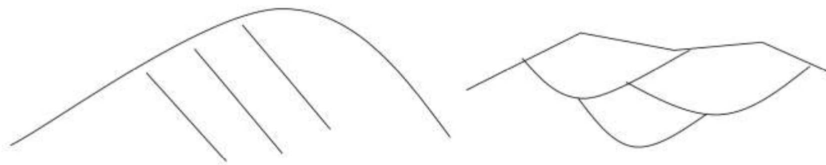
Le litage ("bedding") est l'expression de la stratification à l'échelle du banc (cm et plus)

La lamination représente la stratification à l'échelle du mm et en deçà, au sein des bancs.

Litage et lamination sont produits par des changements plus ou moins périodiques dans la sédimentation (variations de la granulométrie ; de la composition des sédiments).

c. Les stratifications obliques et entrecroisées

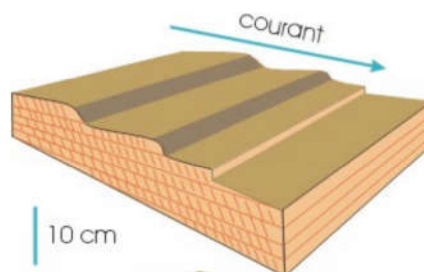
Les stratifications obliques (="tabular cross bedding") et entrecroisées ("cross-stratifications") sont des structures internes aux dépôts créées par des courants



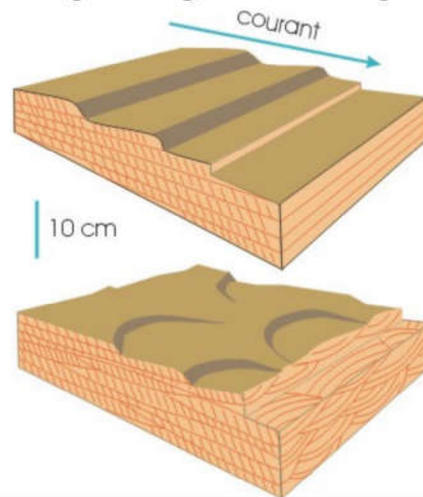
Les stratifications obliques sont obliques par rapport au pendage moyen de la surface de stratification.

Surfaces limites planes ==> forme tabulaire

Elles se forment lorsque les crêtes des rides sont rectilignes

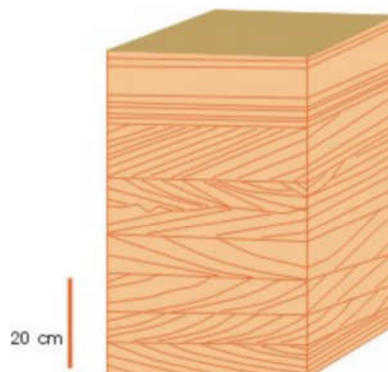


Les stratifications entrecroisées sont également obliques et de plus se recoupent mutuellement.
Les stratifications en auge (="trough cross bedding")
Surfaces limites incurvées ==> formes en auge.
les stratifications en auge témoignent de crêtes plus sinueuses



les stratifications en arêtes de poisson ("herringbone crossbedding"). caractérisées par la superposition de lamines obliques de sens opposé.

Cette structure est produite surtout dans les tidal flats par les inversions périodiques des courants de marée.



d. Structures de dessiccation

Les fentes de retrait ("mud cracks")

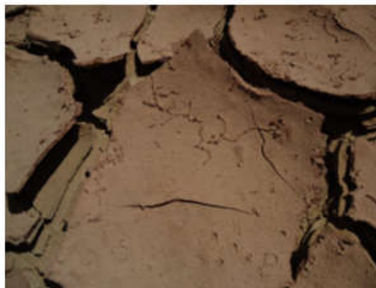
Sédiments fins soumis à la dessiccation dans les environnements côtiers et lacustres.

Les fentes s'organisent en réseaux polygonaux (mm à +ieurs m).

Les fissures entre les polygones sont ouvertes et peuvent être ultérieurement remplies par des sédiments.

Les fissures se terminent en coin vers le bas (dessinant la lettre V).

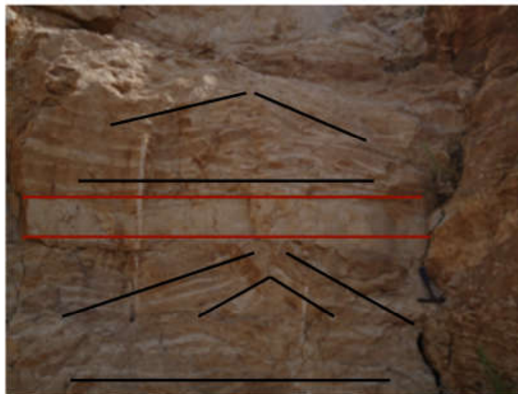
Les mud cracks sont des marqueurs d'emersion





Des fentes de retrait horizontales peuvent également apparaître ("sheet cracks"). (rétraction des tapis algaires par dessiccation)



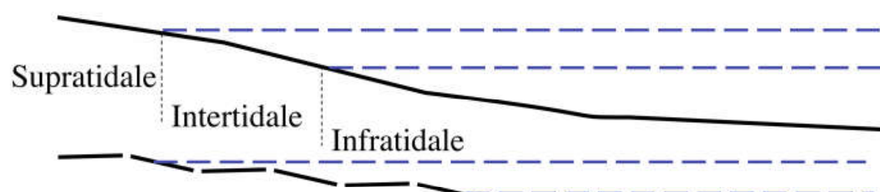




Les figures en tepee (tepee, tipi = tente indienne)
En forme d'un accent circonflexe = redressement des lits
Litage perturbé au niveau de ces structures
Caractérisent des milieux inter- à supratidaux

Brèches sédimentaires monogéniques ou bèches de tempêtes, brèches intraformationnelles ou brèches synsédimentaires

Elles sont formées de fragments de roches carbonatées, anguleux, plus ou moins rectangulaires emballés dans une matrice également carbonatée.



Lamines ou plaquettes sont fragmentées par dessiccation dans les zones inter- à supratidales



Démantellement des fragments lors de tempêtes ou de fortes marées
Resédimentation sur place après brassage par les courants

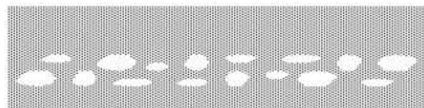


brèches synsédimentaires

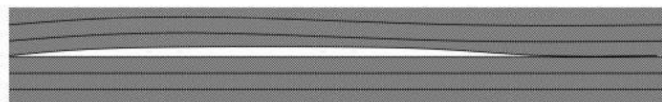
e. Les effets de gaz

Décomposition de la MO ==> apparition de gaz
Exondation (emersion) du sédiment ==> introduction d'air
La pression du gaz ==> le déplacement des particules sédimentaires ==> création de cavités ou poches (qlqs mm à qlq cm de ϕ)

«bird eyes » = Fenestrae ou structures œillées Formes ovoïdes ou elliptiques.



« sheet cracks » = fenestrae laminoïdes allongées horizontalement associées aux tapis algaires <== décomposition de la MO





1.3.4 Structures sédimentaires d'origine biologique

Les traces de fossiles ou ichnofossiles incluent les pistes (« tracks » et « trails »), les bioturbations (« burrows ») et les perforations (« borings »).

Ce sont des structures formées au cours de la désorganisation du sédiment par les différentes activités des organismes.

Les activités des organismes détruisent les structures primaires (ex. la lamination).

Ces activités sur une longue période produisent une homogénisation du sédiment (aspect massif).

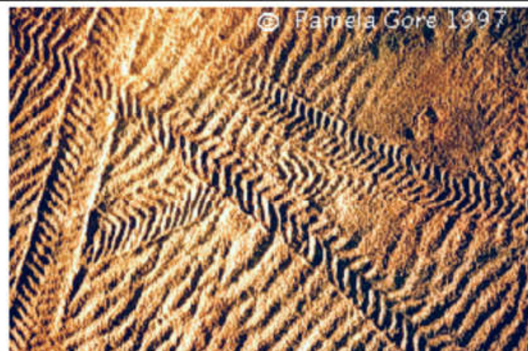
Destruction des structures sédimentaires.

a. Traces de déplacement (pistes) et de repos (« tracks » et « trails »)

En milieu sous-aquatique, les pistes sont généralement produites par des arthropodes.

Ces pistes sont souvent conservées en relief sur la base de la couche sédimentaire surincombante.





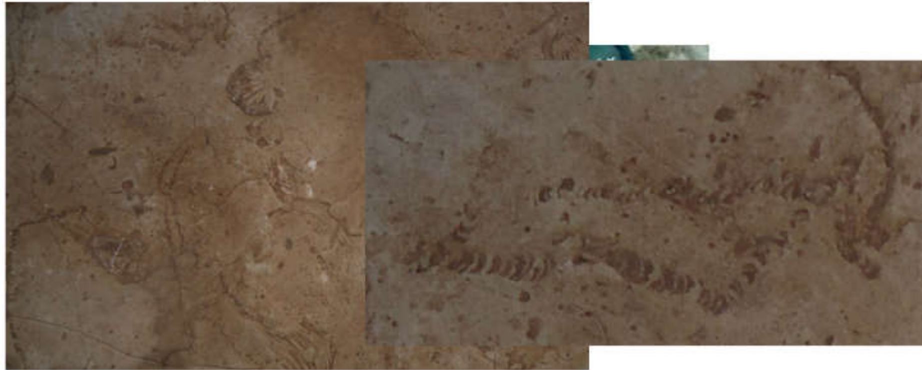


b. Terriers (« Burrows »)

Ils sont produits par des animaux dans un sédiment mou et peuvent être utilisés par les organismes pour le logement ou au cours de la recherche de nourriture.

Les terriers sont en général remplis de sédiments de couleur et de texture differentes que le sédiment encaissant.

La présence de terriers est une caractéristique des fonds marins bien oxygénés..





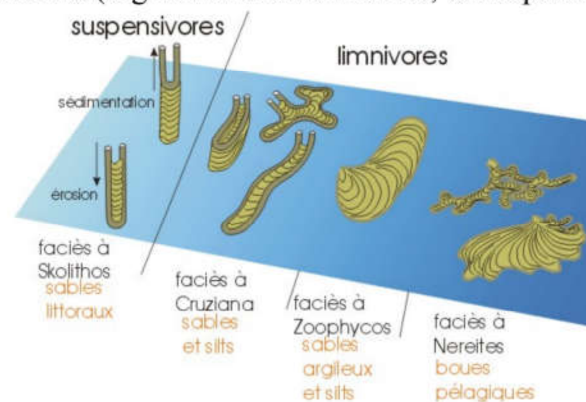






Dans les substrats meubles, d'énergie moins forte, on observe deux types de terriers:

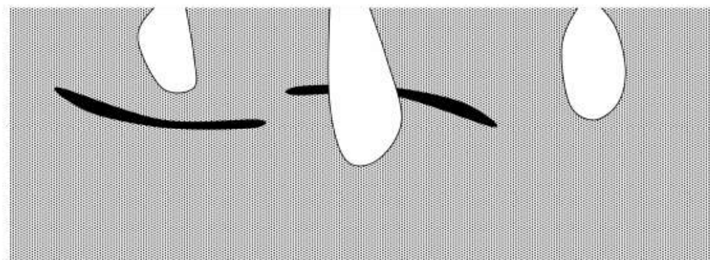
① des terriers simples en forme de tubes rectilignes ou de poches; (organismes suspensivores: lamellibranches, arthropodes, oursins).
② des terriers en forme de U, communique avec la surface par deux orifices (org limnivores: annélides, arthropodes).



c. Perforations (« Boring »)

Dans l'environnement de haute énergie de la zone intertidale, les substrats durs sont creusés par les lithophages (perforations de spongiaires, annélides, lamellibranches,...).

Ces perforations sont reconnaissables car elles tronquent les éléments squelettiques du sédiment.



d. Traces de racines (« Root marks »)

Ce sont des traces laisées par des racines de plantes dans des zones anciens sols (paléosols).

Elles se bifurquent vers le bas à la manière dʼ un arbre à lʼ envers.

Ce type de bioturbation se distingue des terriers par le diamètre variable des structures, leur aspect souvent fourchu et leur terminaison conique.





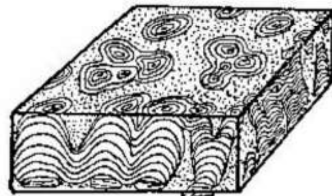
1.3.5 Structures sédimentaires d'origine biophysique (biostratification)

Les stromatolithes s.l. sont des structures organo-sédimentaires (et non pas des fossiles) formées par des colonies de cyanobactéries piégeant des sédiments.

Elles se présentent:

① en relief (en colonnes, arquées, onduleuses ou sphéroïdales)

② ou planes ("laminites cryptalgaires")



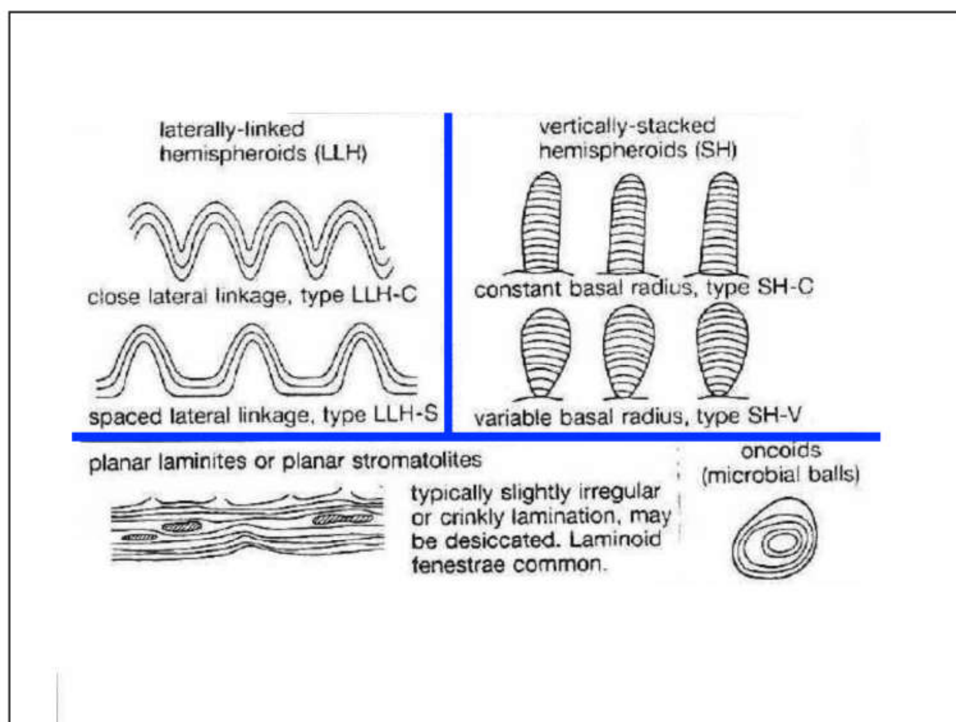


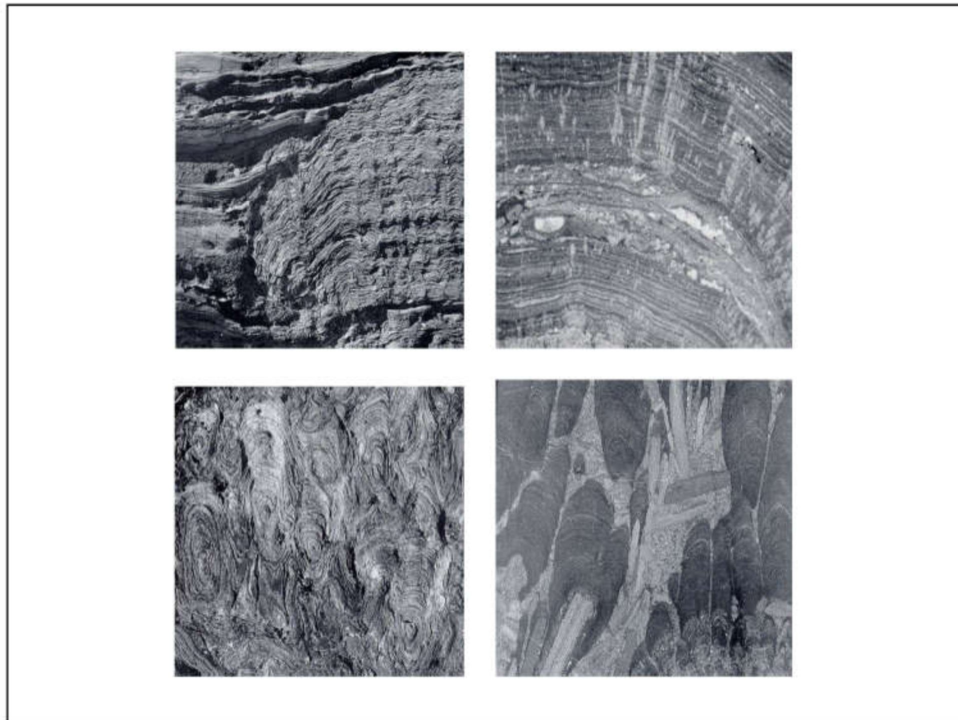
http://livelikedirt.blogspot.com/2012/04/fossilized-origins-of-life.html

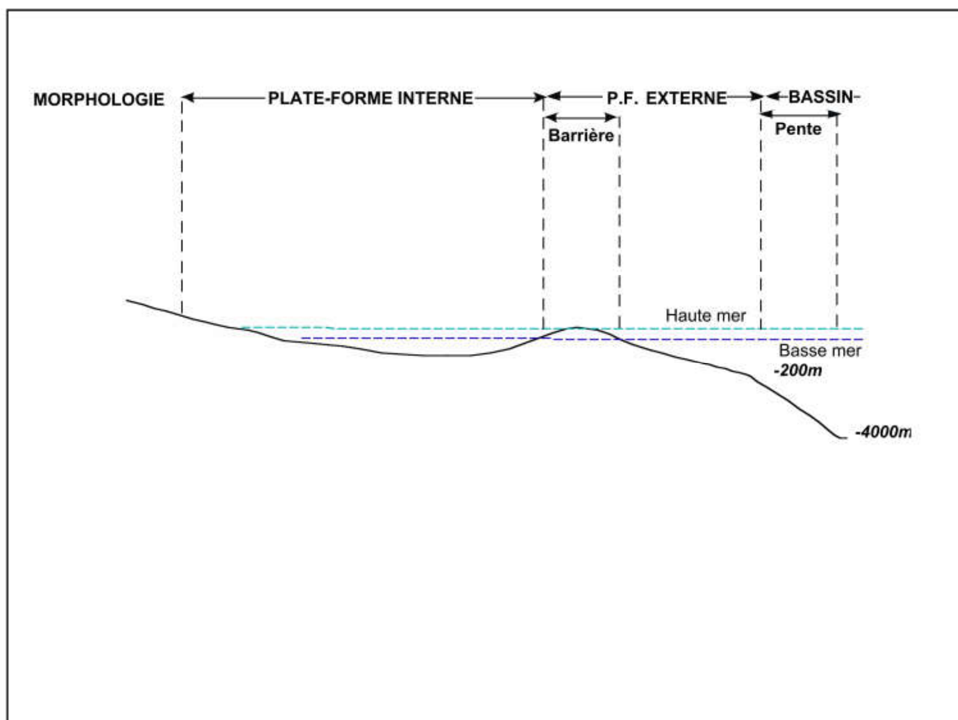
Les stromatolithes occupent certaines “tidal-flats”.

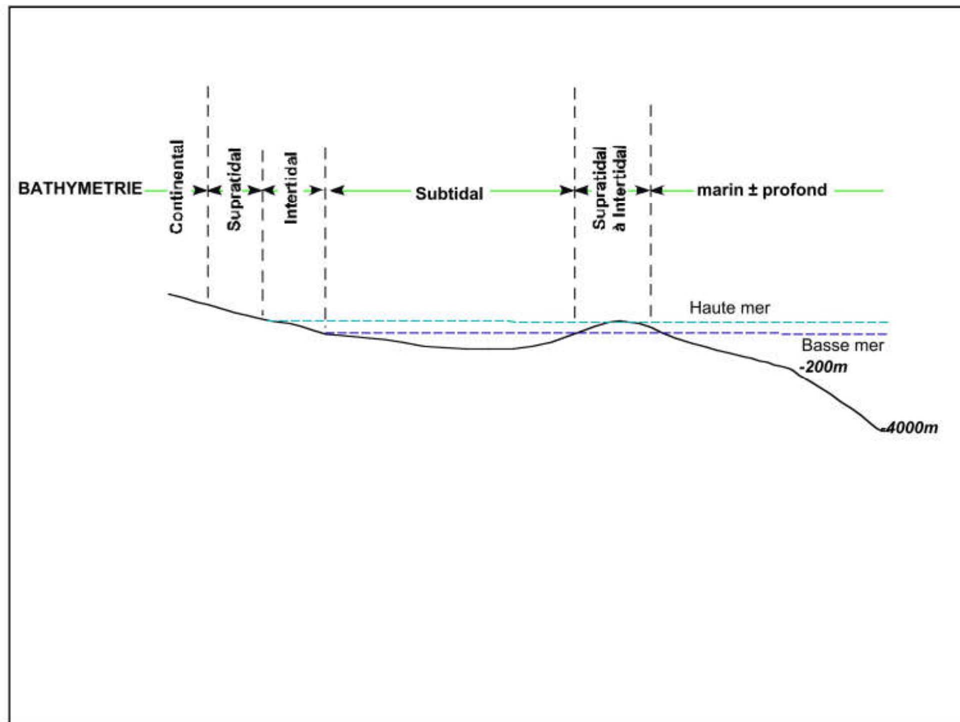
La plupart des stromatolithes se trouvent dans les carbonates Précambriens et Paléozoique inférieur.

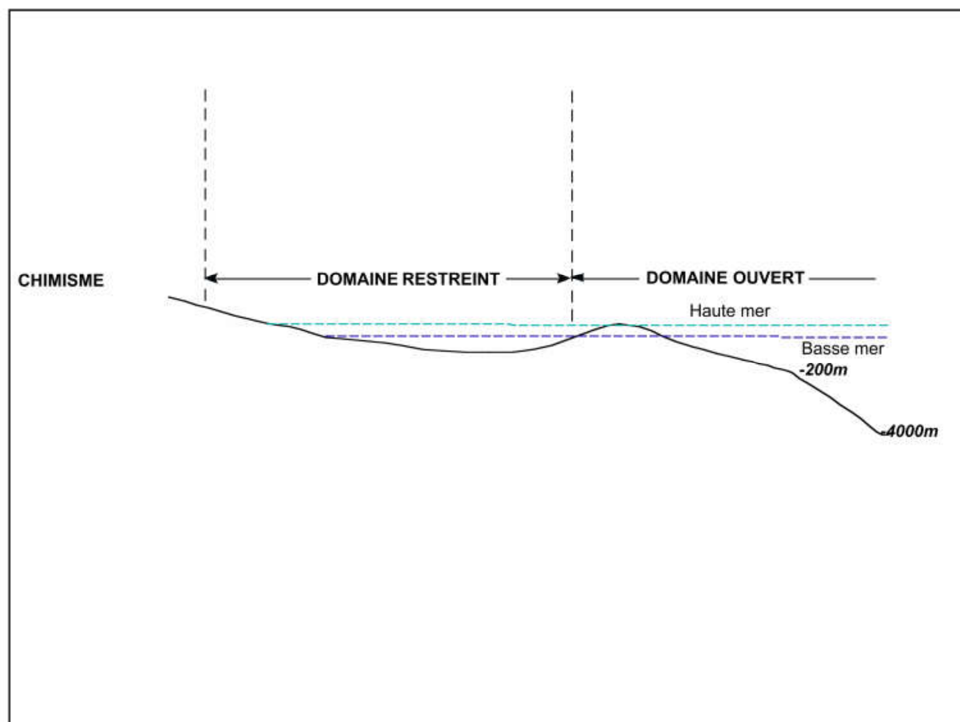
Les cyanobactéries sont responsables du changement du caractère de l’atmosphère de la Terre : d’une atmosphère dominée par CO_2 à une atmosphère avec des quantités significatives d’O_2.

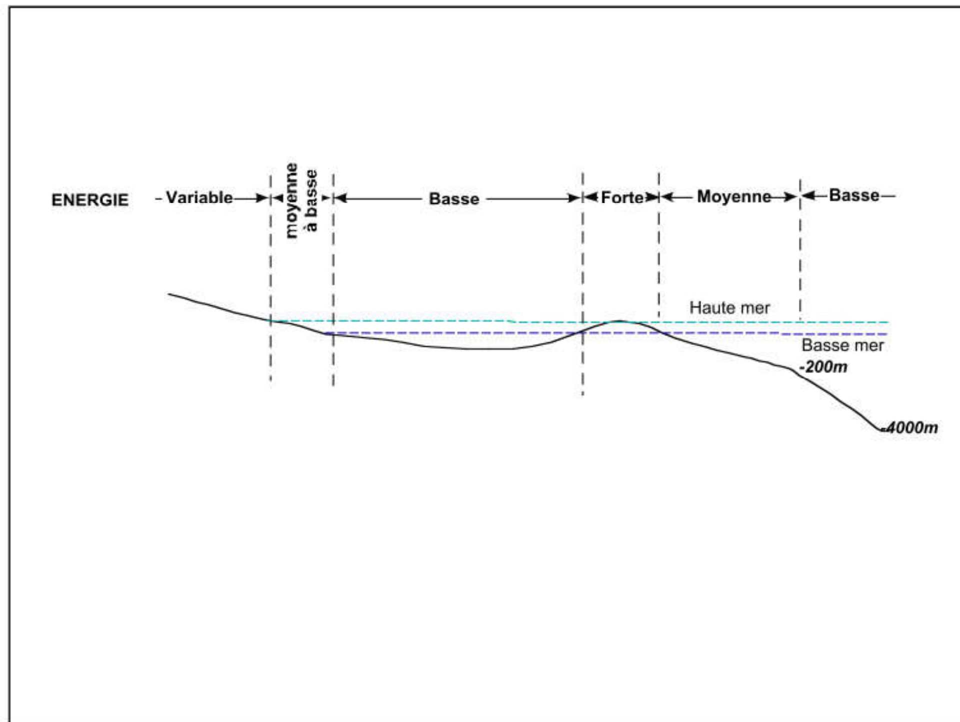


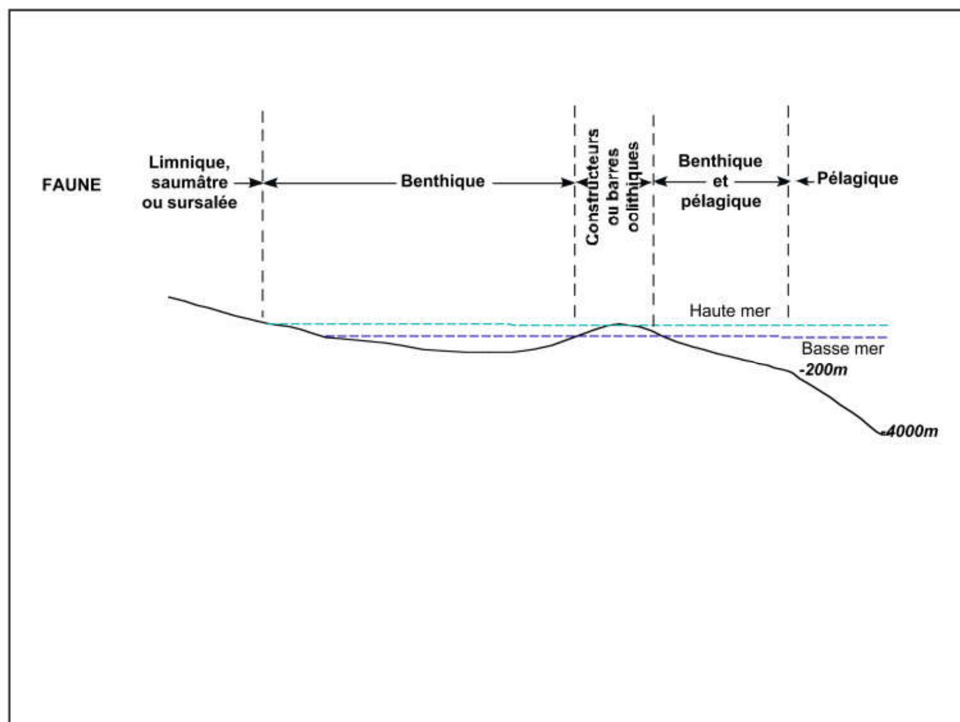


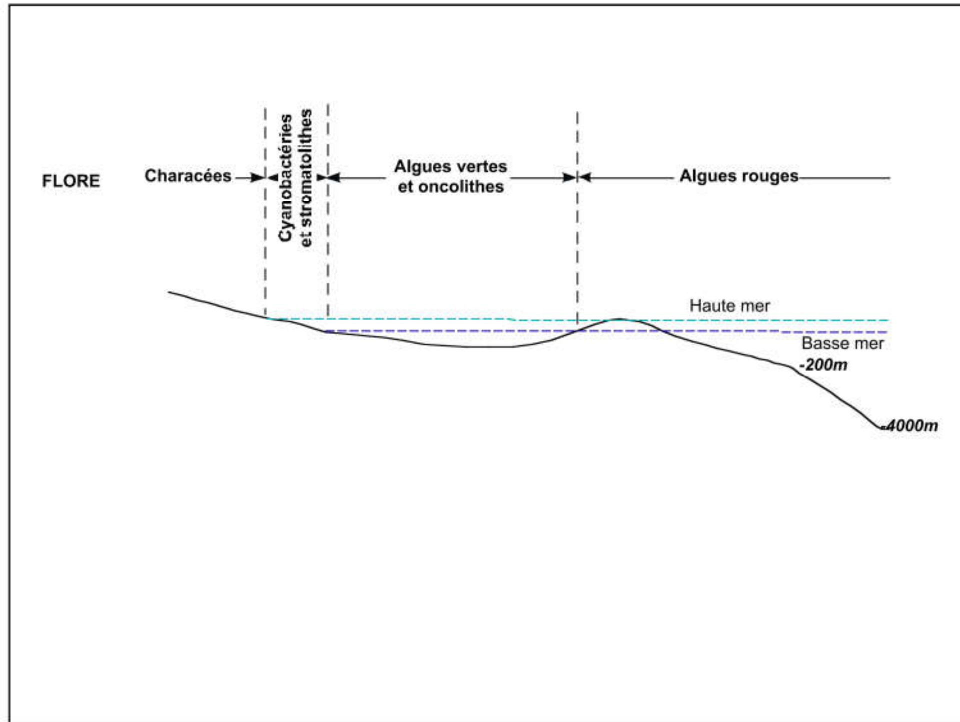

MORPHOLOGIE
PLATE-FORME INTERNE
P.F. EXTERNE
BASSIN
Barrière
Pente
Haute mer
Basse mer
-200m
-4000m


BATHYMETRIE
Continental
Supratidal
Intertidal
Subtidal
Supratidal
à Intertidal
marin ± profond
Haute mer
Basse mer
-200m
-4000m


CHIMISME
DOMAINE RESTREINT
DOMAINE OUVERT
Haute mer
Basse mer
-200m
-4000m


ENERGIE
Variable
moyenne à basse
Basse
Forte
Moyenne
Basse
Haute mer
Basse mer
-200m
-4000m


FAUNE
Limnique, saumâtre ou sursalée
Benthique
Constructeurs ou barres oolithiques
Benthique et pélagique
Pélagique
Haute mer
Basse mer
-200m
-4000m


FLORE
Characées
Cyanobactéries et stromatolithes
Algues vertes et oncolithes
Algues rouges
Haute mer
Basse mer
-200m
-4000m

Module 21
Pétrographie sédimentaire

Chapitre II

Roches d'origine chimique et biochimique

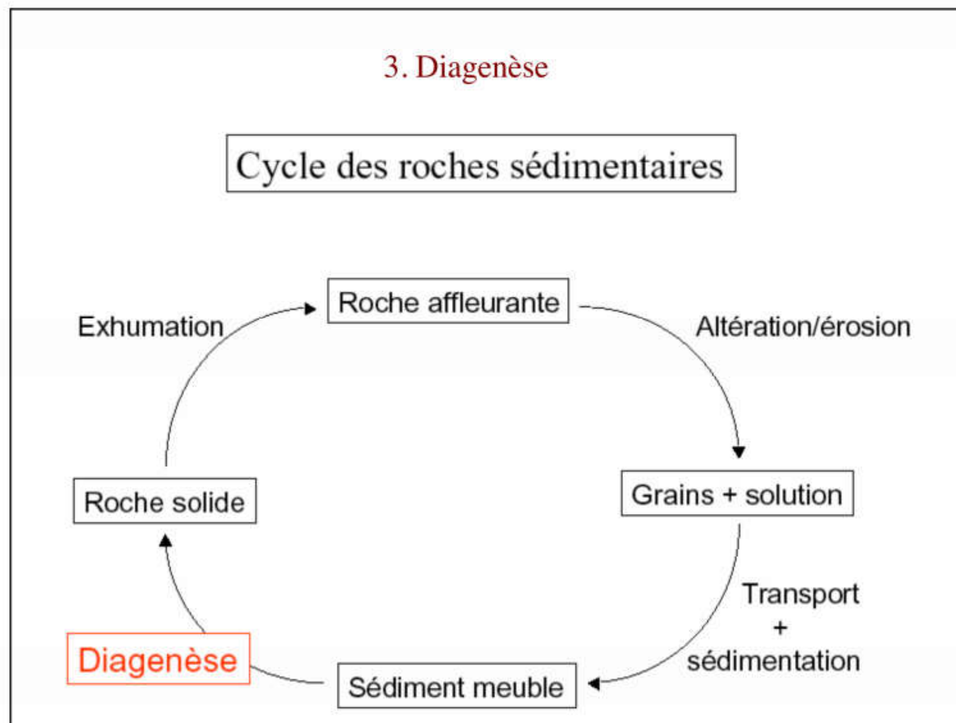
Plan

Introduction

Chapitre I : Modes de genèse et classifications des roches sédimentaires.

Chapitre II : Roches d'origine chimique et biochimique.

A. **Roches carbonatées**
   1. **Calcaires**
   2. **Dolomies** (voir 3. Diagenèse des carbonates)
   3. **Diagenèse des carbonates**
      - 3.1 Processus diagénétiques
      - 3.2 Milieux diagénétiques
      - 3.3 Dolomies et dolomitisation



Définition

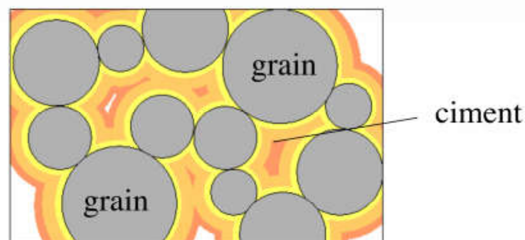
Diagenèse *n. f.* : Ensemble des processus qui affectent un dépôt sédimentaire et le transforment progressivement en roche sédimentaire solide.

Foucault & Raoult- Dictionnaire de géologie

3.1 Processus diagénétiques

3.1.1 Cimentation

précipitation d' une nouvelle phase minérale dans la porosité
=> lithification (induration)



Carbonate : minéral caractérisé par l'ion $(CO_3)^{2-}$

→ Trois minéraux abondants :

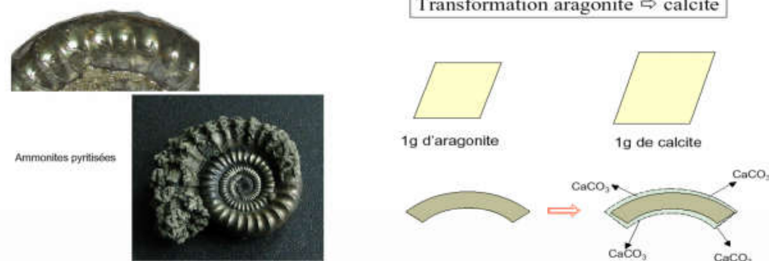
Polymorphes =
1. Calcite ($CaCO_3$)
   - Faiblement magnésienne (stable) (0→5% de Mg)
   - Hautement magnésienne (peu stable) (5→15% de Mg)
2. Aragonite ($CaCO_3$) : métastable à T°C ambiante → dissolution ou transformation en calcite

3. Dolomite (Ca, Mg) $(CO_3)_2$

3.1.2 Remplacement

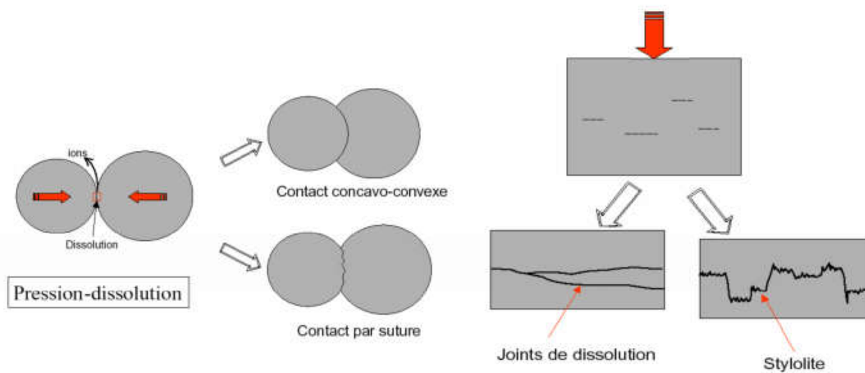
dissolution d'une phase et précipitation synchrone d'une nouvelle phase à la place:

1) néomorphique (le nouveau grain est constitué par la même phase que l'ancien grain)
2) pseudomorphique (l'ancien grain est remplacé par une nouvelle phase minérale mais la structure cristalline initiale est conservée)
3) allomorphique (l'ancienne phase est remplacée par une nouvelle phase et la structure de la première phase n'est pas conservée)



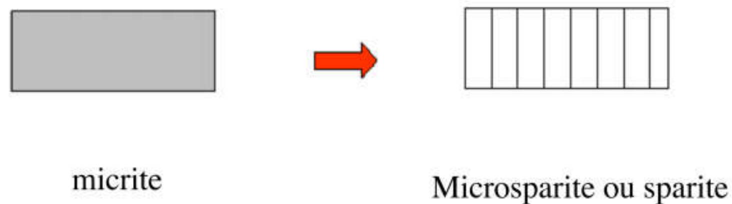
3.1.3 Compaction mécano-chimique

Dissolution sous contrainte conduisant à une réduction de la porosité et à une diminution du volume de la roche



3.1.4. Recristallisation

processus consistant en une modification de la taille et/ou de l'orientation des cristaux d'un élément figuré, d'une matrice ou d'un ciment.



micrite

Microsparite ou sparite

Plan

Introduction

Chapitre I : Modes de genèse et classifications des roches sédimentaires.

Chapitre II : Roches d'origine chimique et biochimique.

- **A. Roches carbonatées**
  1. **Calcaires**
  2. **Dolomies** (voir 3. Diagenèse des carbonates)
  3. **Diagenèse des carbonates**
     - 3.1 Processus diagénétiques
     - 3.2 Milieux diagénétiques
     - 3.3 Dolomies et dolomitisation

3.2 Milieux diagénétiques

Trois zones diagénétiques principales

- ✓ précoce ou éogénétique
- ✓ d'enfouissement ou mésogénétique
- ✓ tardive ou télogénétique

A. CIMENTATIONS	B. RECRISTALLISATIONS
fibres ou aiguilles isopaques	calcitisation de squelette aragonitique
sparite drusique	calcite fibreuse développée sur carbonate aciculaire
ciment syntaxial	microsparitisation de calcilutite
ciment microgranulaire	néomorphisme de dégradation
Z. VADOSE: ciment gravitaire en stalactite ou en ménisque	Z. PHRÉATIQUE: ciment isopaque

Principaux types de ciments (A) et de recristallisation (B) carbonatés, observés au microscope optique (Tucker, 1982).

3.2.1 Diagenèse précoce

- ✓ Transformations s'effectuant en surface dans le milieu sédimentaire avant l'enfouissement.
- ✓ Deux principaux paramètres conditionnent la nature et la répartition des ciments :

  1) la nature chimique des eaux (marine ou météorique)

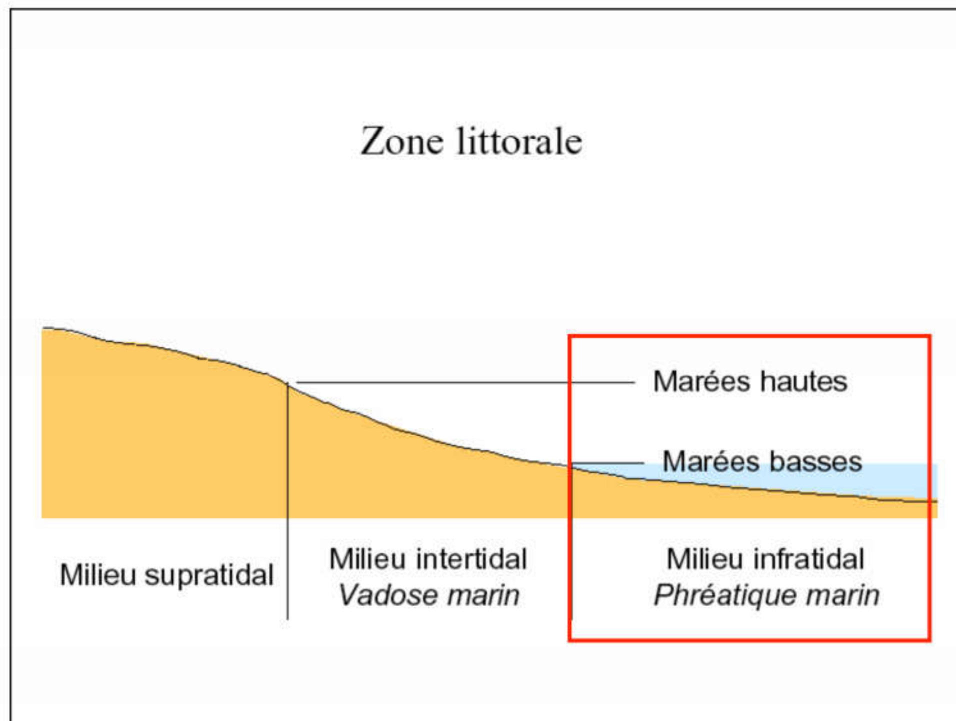
  2) la saturation en eau qui permet de distinguer une zone phréatique saturée en eau et une zone vadose sous-saturée en eau.

Compositions ioniques moyennes des eaux marines et douces

	Average Seawater		Typical Freshwater	
Ion	ppm	percent of total salinity	ppm	percent of total salinity
Chloride (Cl^-)	19300	55.1%	5	6%
Sodium (Na^+)	10700	30.6%	5	6%
Sulfate (SO_4^{--})	2700	7.7%	15	19%
Magnesium (Mg^{++})	1300	3.7%	3	4%
Potassium (K^+)	400	1.1%	2	3%
Calcium (Ca^{++})	400	1.1%	15	19%
Bicarbonate (HCO_3^-)	130	0.4%	35	44%
Bromide (Br^-)	70	0.2%	0	0%
Total Dissolved Solids (ppm)	35000		80	
Salinity (‰)	35		0.08	

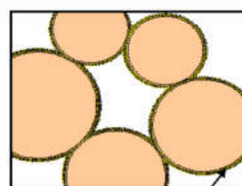
Les concentrations ioniques du tableau sont des approximations compilées de sources bibliographiques multiples

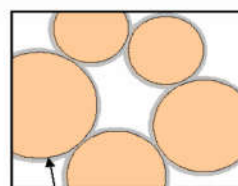
source: http://www.eqsgroup.com/



a - Milieu phréatique marin

Ciments marins-milieu infratidal

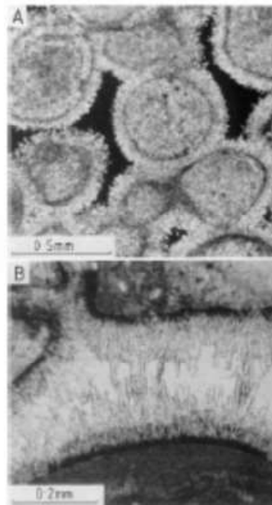




Cristaux aciculaires (Aragonite ou calcite Mg)

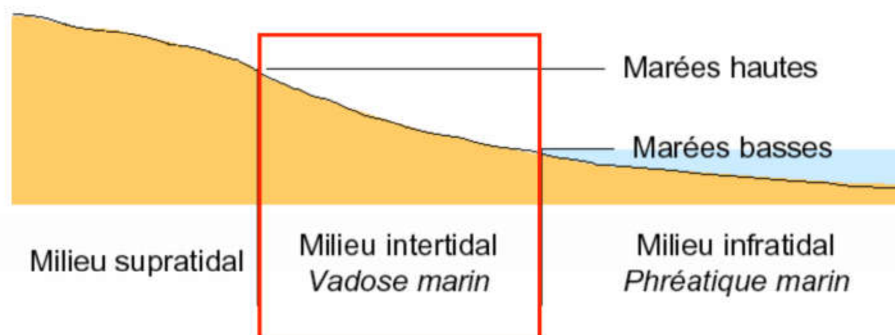
Micrite (calcite Mg)

- ✓ la cimentation est le processus dominant dans la diagenèse marine (saturation des eaux marines en carbonates).
- ✓ le ciment est de l'aragonite et de la calcite magnésienne (milieu riche en Mg et Na).
- ✓ disposition régulière autours des grains
- ✓ ciment fibreux ou palissadique.



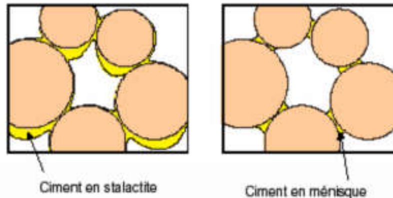
Ciment fibreux à disposition régulière autours des grains

Zone littorale



b - Milieu vadose marin

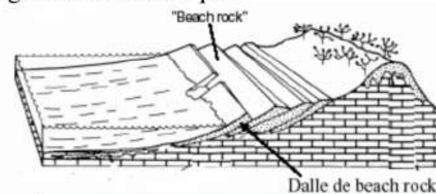
Ciments marins-milieu intertidal



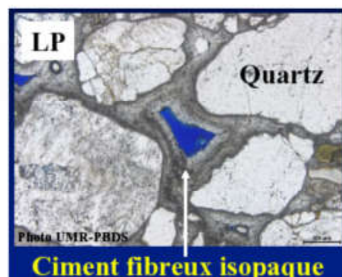
- ✓ le milieu est sous-saturé en eaux marines (milieu vadose).
- ✓ le ciment est de l'aragonite et de la calcite magnésienne (milieu riche en Mg et Na).
- ✓ précipitation dans la zone vadose:
  1) franges asymétriques épaisses sur la face inférieure des grains (ciment gravitaire = ciment microstallactitique)
  2) ciments en ménisque concentrés au niveau des contacts des grains

Diagenèse précoce : ex. du « beach rock »

Le principal phénomène diagénétique dans ce milieu est la lithification des sables de plages (grès de plage ou beach rock) qui se développent sous faible recouvrement sédimentaire (qlques dizaines de cm) par cimentation d'aragonite aciculaire (fibreuse) ou de calcite très magnésienne micritique.

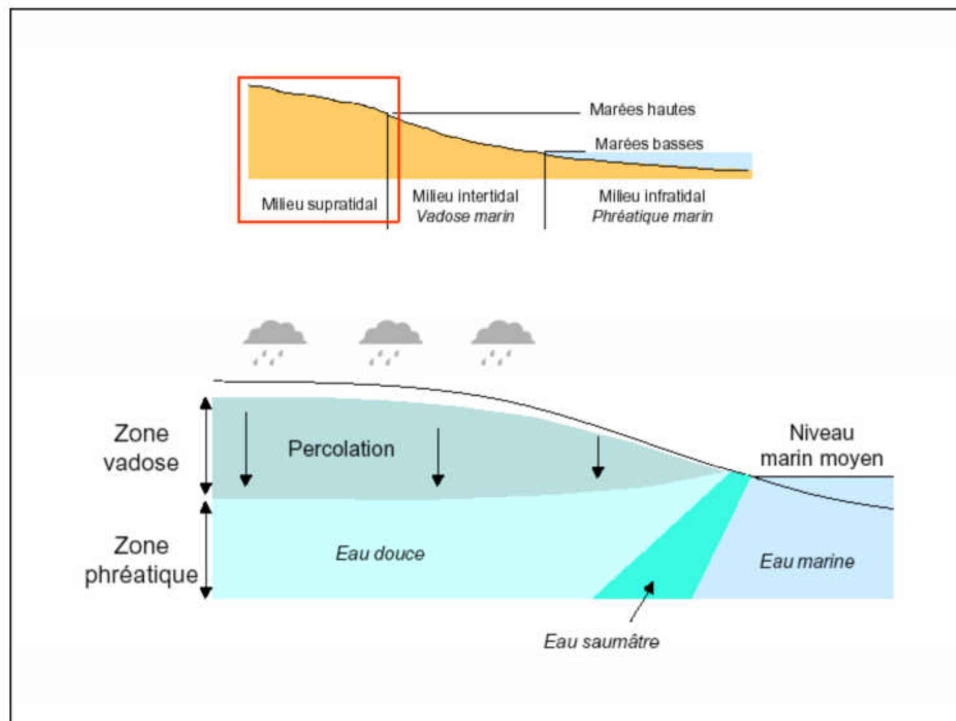


Ce phénomène est commun dans les régions tropicales à sub-tropicales (latitudes : 0 et 45°).



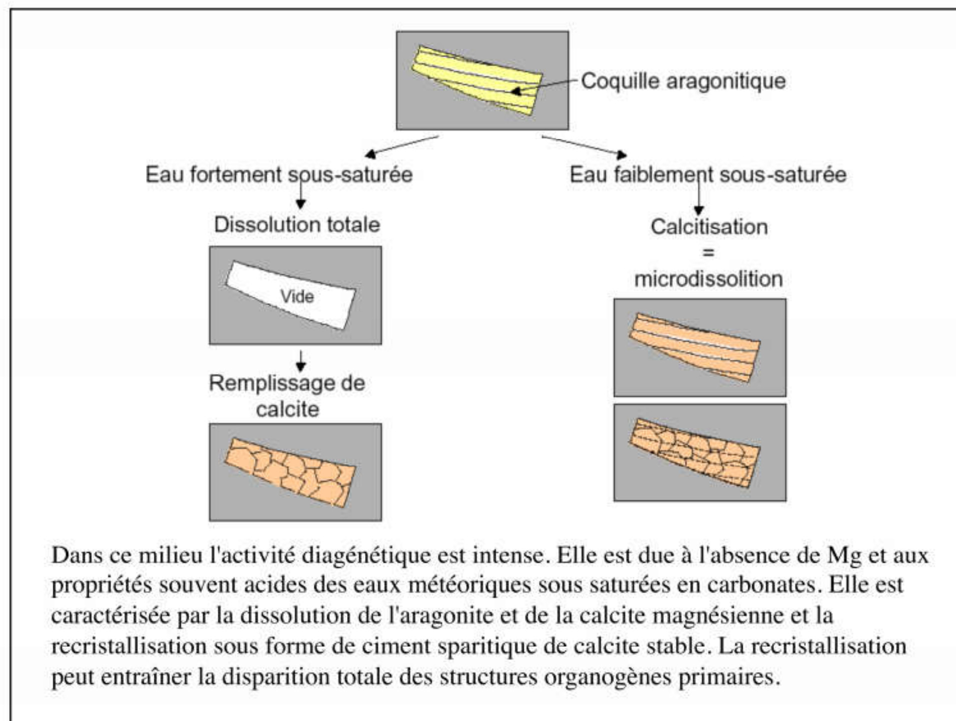


Beach rock de l'île d'Ish, Abu Dhabi. Source : Purser B. H. (1980)



c - Milieu continental vadose

- ✓ Les mêmes processus diagénétiques affectant le milieu marin vadose peuvent affecter le milieu continental vadose.
- ✓ Dissolution plus accentuée (sédiments carbonatés marins une fois placés dans le milieu continental)
- ✓ Précipitation de calcite faiblement magnésienne (LCM) (eaux douces pauvres en Mg et Na).
- ✓ Ciments ont une disposition irrégulière et asymétriques (en ménisque ou stalactitique) et micritiques ou cristallins.
- ✓ Cimentation en milieu continental => concrétions (pisolithes) et calcrêtes.

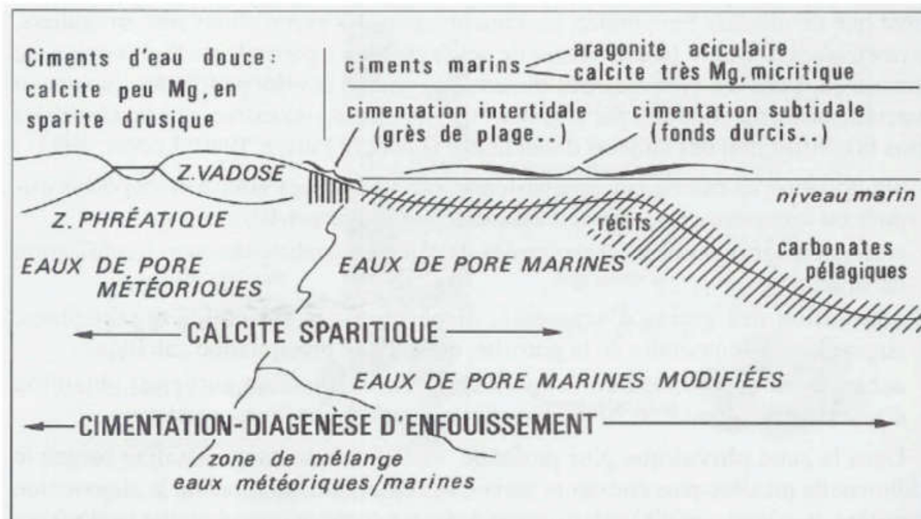


Dans ce milieu l'activité diagénétique est intense. Elle est due à l'absence de Mg et aux propriétés souvent acides des eaux météoriques sous saturées en carbonates. Elle est caractérisée par la dissolution de l'aragonite et de la calcite magnésienne et la recristallisation sous forme de ciment sparitique de calcite stable. La recristallisation peut entraîner la disparition totale des structures organogènes primaires.

d - Milieu continental phréatique

- ✓ une forte cimentation: les eaux phréatiques se chargent en Ca^{++} et HCO_3^{--} provenant de la zone vadose (dissolution)
- ✓ précipitation de la calcite faiblement magnésienne (LMC)
- ✓ Ciments sous forme de cristaux sparitiques à structure granulaire ou drusique (cristaux de grande taille).

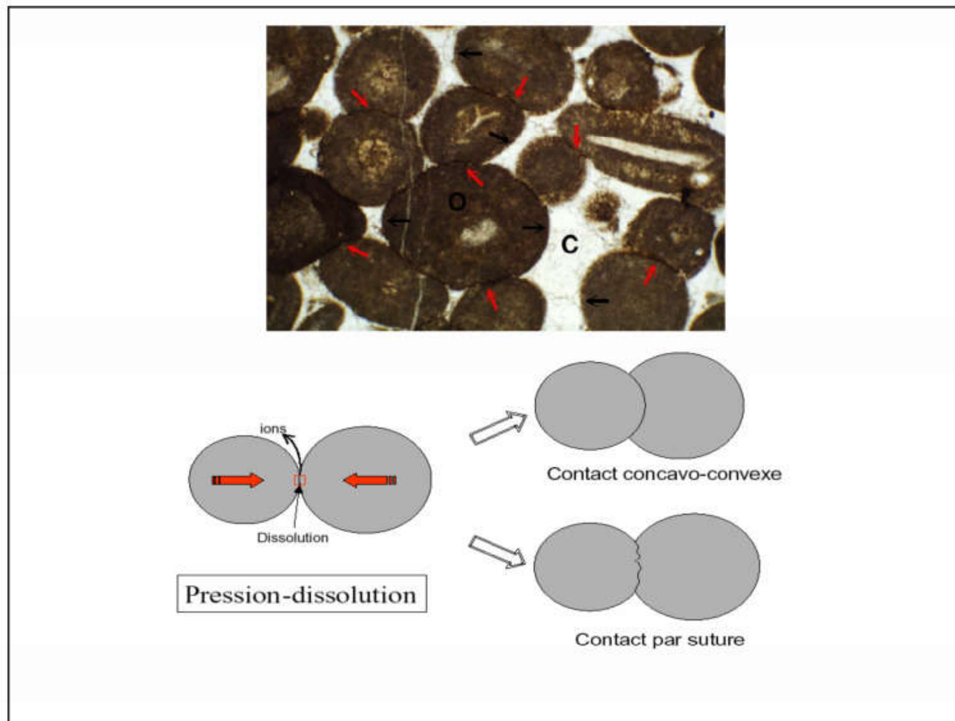
e - Conclusion sur la Cimentation

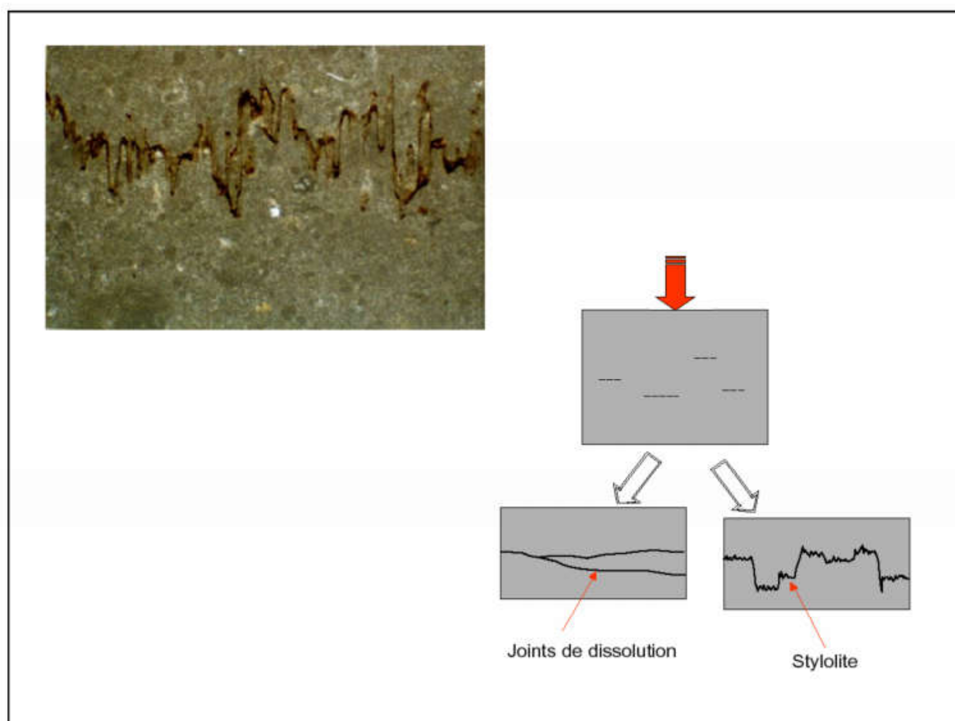


Principaux milieux de cimentation carbonatée (Tucker, 1982).

3.2.2 Diagenèse d'enfouissement

- ✓ Milieu fermé avec une circulation des fluides limitée
- ✓ Pression et températures élevées
- ✓ Perte de la porosité avec la profondeur et augmentation de la lithification
- ✓ Phénomène de pression-dissolution

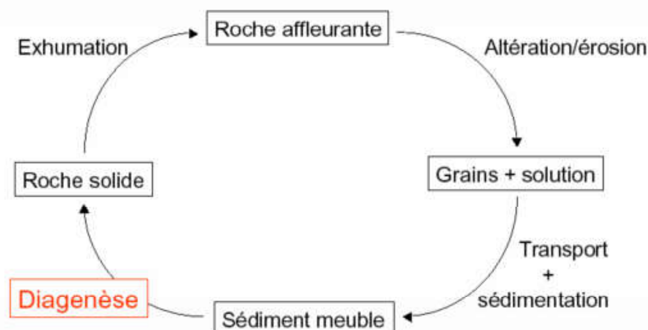

O
C
ions
Dissolution
Pression-dissolution
Contact concavo-convexe
Contact par suture


Joints de dissolution
Stylolite

3.2.3 Diagenèse tardive

- ✓ Liée à l'exhumation des sédiments précédemment enfouis
- ✓ Influences météoriques (épigenèse)

Cycle des roches sédimentaires

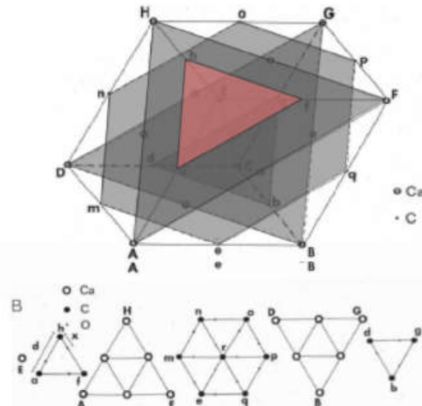


3.3. Dolomies et dolomitisation

3.3.1 Introduction

- ✓ Le nom dolomie a était utilisé pour la première fois par Saussare (1792) en honneur au géologue français Deodat Guy Dolomieu (1750-1801).
- ✓ Dolomie (dolostone) - une roche formée essentiellement de dolomite $CaMg(CO_3)_2$ (le minéral)
- ✓ Dolomitisation - processus de conversion d'un calcaire en dolomie
  - Cache les textures et structures originales
  - Classification difficile
- ✓ La dolomie est probablement l'un des types de roches le plus étudié mais encore le moins compris.
- ✓ La dolomite est un minéral peu commun dans l'Holocène (-11700--> 0), cependant très commun dans les carbonates fossiles.
- ✓ Les dolomies sont d'un intérêt économique capital comme réservoirs d'hydrocarbures ou d'eau ou encore comme pièges de minéralisations.

3.3.2 Minéralogie



- La dolomite idéale a une composition chimique $CaMg(CO_3)_2$ avec un réseau cristallin dont les plans réticulaires magnésiens et calciques alternent très régulièrement
- Ces plans sont séparés par des couches de $(CO_3)^{-2}$.
- La maille est un rhomboèdre avec une symétrie structurale du sous-système trigonal (système hexagonal).

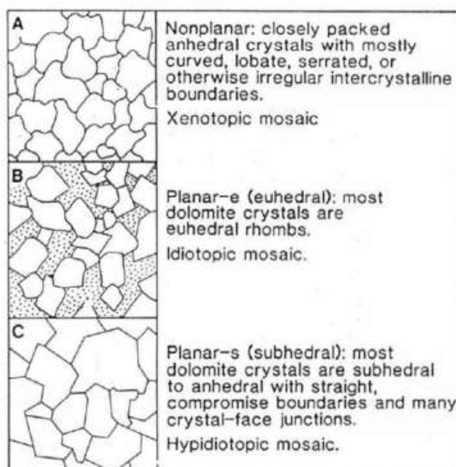
- La dolomite est un système naturel mieux représenté par la formule $Ca_{(1+x)}Mg_{(1-x)}(Co_3)$.
- La dolomite qui se rencontre dans la nature se situe entre $Ca_{1.16}Mg_{0.84}(Co_3)_2$ et $Ca_{0.96}Mg_{1.04}(Co_3)_2$ (Land, 1985).
- La dolomite constitue donc un groupe de minéraux de chimie et de structure cristalline similaires.
- L'alternent très régulièrement des plans réticulaires magnésiens et calciques ne peut se produire que par cristallisation très lente d'une solution diluée ou, plus rapidement, à partir d'une solution concentrée à rapport Mg/Ca élevé.
- L'eau de mer, bien que sursaturée vis-à-vis de la dolomite, ne correspond pas à ces conditions et, de ce fait, ne permet presque jamais la précipitation directe du minéral.

Les études des dolomites modernes et anciennes ont montré que la grande partie des dolomies anciennes est diagénétique.Le temps de diagenèse varie de précoce (synsédimentaire?) à tardif.

- ✓ **Lors de la diagenèse précoce**, il s'agit surtout d'une précipitation secondaire de protodolomite peu ordonnée, localement décrite dans les milieux côtiers, ainsi que sur les marges continentales à sédimentation relativement lente (<50cm/1000 ans) et riche en matière organique (>0,5% C. org.).

- ✓ **Au cours de la diagenèse plus tardive**, la dolomitisation est pratiquement indépendante des lithofaciès et recoupe les unités sédimentaires. Elle est massive ou localisée, peut se développer le long des discontinuités sédimentaires et peut être parfois guidée par les structures tectoniques.

3.3.2 Textures

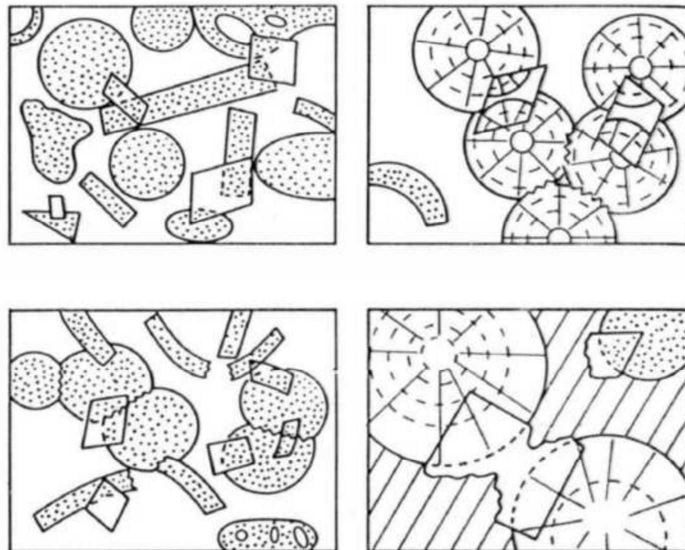


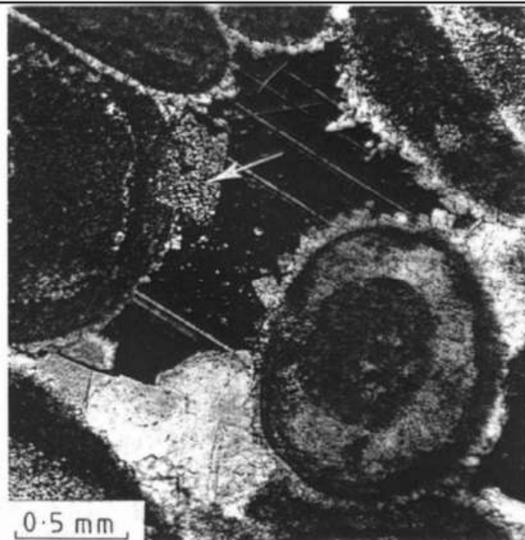
Cristaux xénomorphes en mosaique

Cristaux automorphes +/- isolés

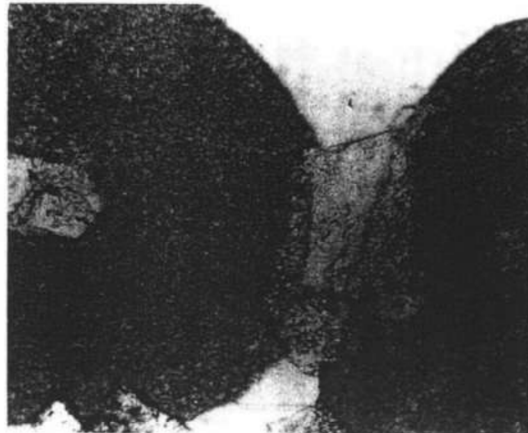
Cristaux subautomorphes en mosaique

Trois textures communes de la dolomite. (A) Cristaux non planaires dans une mosaique xénomorphe. (B) Cristaux automorphes dans une mosaique idiomorphe. (C) Cristaux subautomorphes dans une mosaique hypidiomorphe (d'après Sibley & Gregg, 1987)





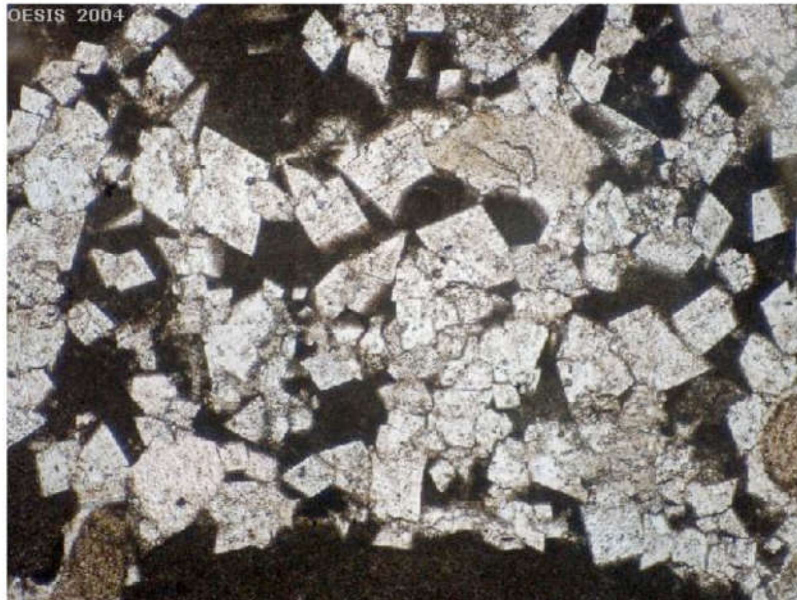
Ciment calcitique au contact et irrégulièrement autours des grains. Cette géométrie indique une précipitation dans un environnement météorique vadose près de la surface. Une précipitation tardive de calcite poïkilotopique (noire, en extinction) prend place derant l'enfouissement. Des rhomboèdres isolés (flèche) se sont précipités après le ciment météorique, mais avant la ciment d'enfouissement.



Rhomboèdre de dolomite pré-compaction. Noter que l'ooïde est déplacé à l'intérieur du rhomboèdre.



Dolomite de type planar-e



3.3.4 Modèles de dolomitisation

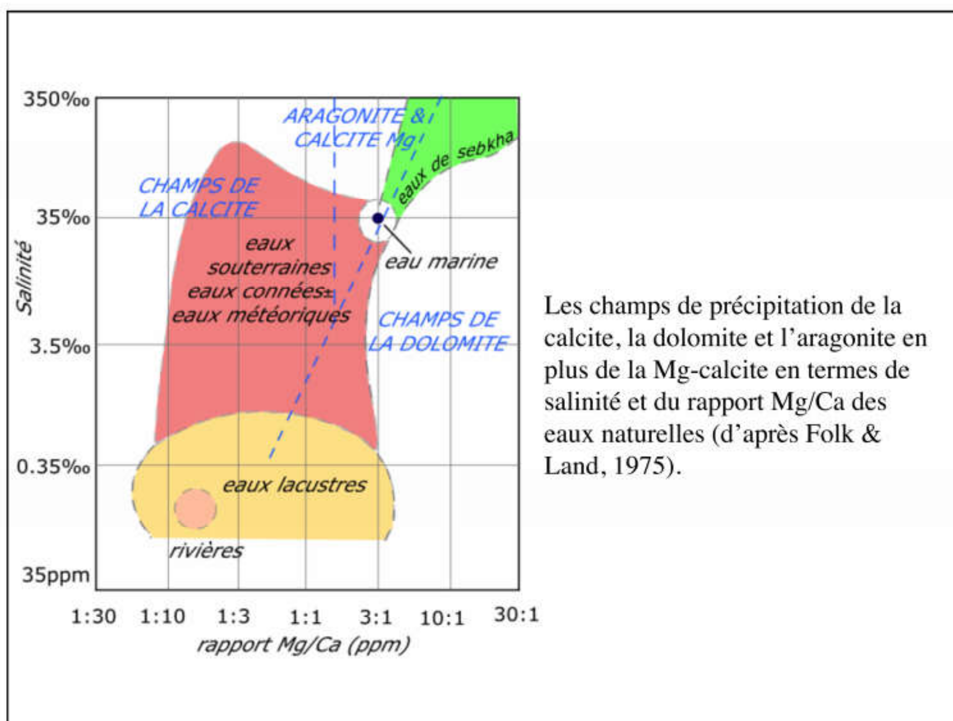
- ✓ Les termes « dolomie primaire » et « dolomie secondaire » ont besoin d'être définis avant d'entamer la disussion des modèles de formation de la dolomite. La « dolomie primaire » est définie comme des cristaux de dolomite précipitées dans une aire où rien n'existait au paravant. Dans ce sens, peu, sinon aucun, niveau épais extensif de dolomite primaire ne se forme actuellement à la surface de la terre.
- ✓ Les géologues travaillant sur les dépôts fossiles utilisent souvent le suffixe « primaire » dans un sens légèrement différent pour signifier une dolomite précoce (dolomicrite), qui préserve les textures de dépôt à une échelle fine et forme des lits de dolomite avec des contacts inférieur et supérieur stratiformes bien définis.
- ✓ Quelque soit la définition utilisée pour « dolomite primaire » l'essentiel de la dolomite fossile est une phase « secondaire » ou diagénétique.

Les solutions dolomitisantes

- ✓ Les solutions de dolomitisation modernes incluent:
  - saumures marines
  - saumures continentales
  - eau de mer essentiellement
  - eau de mer mélangée avec de l'eau douce
  - eau de mer modifiée par une réduction extensive de sulfates

  ✓L'eau de mer, bien que modifiée par l'évaporation, la réduction des sulfates ou le mélange avec des eaux météoriques, elle est la seule solution naturelle qui contient suffisamment de Mg pour provoquer une dolomitisation massive

- ✓ Par conséquent, la plupart de la dolomite ancienne se forme probablement relativement précocemment aucours de l'histoire de dépôt et d'enfouissement quand l'eau de mer peut être activement pompée à travers la roche.



Les champs de précipitation de la calcite, la dolomite et l'aragonite en plus de la Mg-calcite en termes de salinité et du rapport Mg/Ca des eaux naturelles (d'après Folk & Land, 1975).

Les Modèles de dolomitisation

1. Modèle de Sabkha
2. Modèle de reflux de saumures
3. Modèle du Coorong lagoon
4. Modèle de zone de mélange
5. Modèle de réduction des sulfates
6. Modèle de Compaction par enfouissement
7. Modèle de solution-canibalisation

Seuls les modèles 2, 4 et 6 et peut être 5 sont évoqués pour expliquer les dolomies fossiles

Les Modèles de dolomitisation

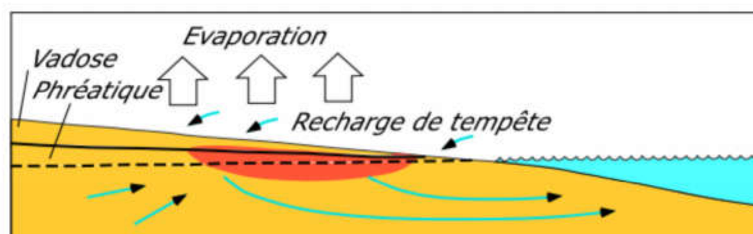
1. Modèle de Sabkha
2. Modèle de reflux de saumures
3. Modèle du Coorong lagoon
4. Modèle de zone de mélange
5. Modèle de réduction des sulfates
6. Modèle de Compaction par enfouissement
7. Modèle de solution-canibalisation

Seuls les modèles 2, 4 et 6 et peut être 5 sont évoqués pour expliquer les dolomies fossiles

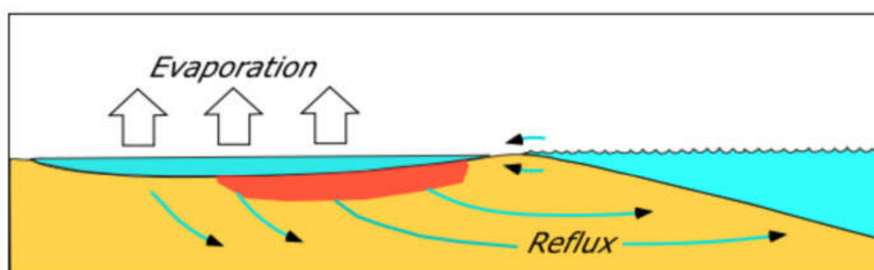
MODELE DE SABKHA

Sabkha (salt flats)

- Minces patchs lités (<2m)
- Inondés périodiquement par des eaux salines
- Périodes extensives d'évaporation
- Les saumures se mélangent avec la boue aragonitique ===> dolomie micritic (5μm) (dissolution remplacement)



MODELE DE REFLUX DES SAUMURES



- Modèle similaire en terme de mécanisme au modèle de sebkha, mais évoqué plutôt pour expliquer la formation des dolomies anciennes extensives et épaisses

MODELE DE REFLUX DES SAUMURES

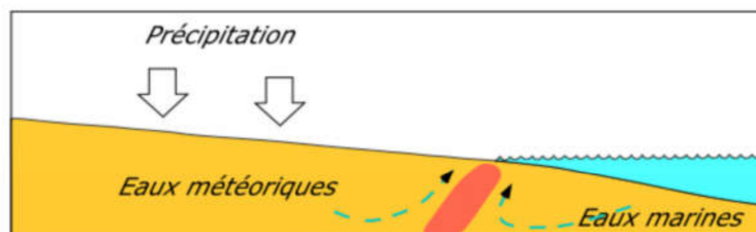
- Quand les saumures hypersalines du lagon deviennent suffisament lourdes (denses), elles déplacent les eaux souterraines pour s'infilrer doucement à travers les carbonates sous-jacents.
- Ces saumures ont déjà déposées leurs carbonates et leurs sulfates dans le lagon == > Elles ont donc un rapport Mg/Ca élevé
- A l'opposé du modèle de sebkha qui explique les dolomites «primaires» liées à la zone supratidale, le modèle de reflux explique les dolomites secondaires extensives associés aux plate-formes.

MODELE DE REFLUX DES SAUMURES

- L'existence d'une barrière physique (seuil, récif) pour créer l'isolement du lagon, ne semble pas être nécessaire dans le cas des mers épicontinentales sanciennes installées sur des plateaux de plusieurs 100 km de large.
- Les changements du niveau marin à l'échelle régionale (tectonique/eustatisme) peut intensifier ce type de dolomitisation

MODELE ZONE DE MELANGE (DORAG)

- Le modèle implique la formation d'une solution dolomisante par mélange souterrain d'eaux météoriques riches en CO_2 et d'eaux marines.
- La solution issue de ce mélange est sous-saturée en $CaCO_3$ et sur-saturée vis-à-vis de la dolomite.
- Les dolomites de la zone de mélange sont des dolomites de remplacement.



MODELE DE STADE D'ENFOUISSEMENT

- Il s'agit d'un événement de dolomitisation de stade tardif rencontré dans les formations carbonatées profondes de subsurface.
- Le modèle explique la présence de dolomites par la migration vers le haut de fluides chauds riches en Mg et en MO en provenance du bassin.
- Plusieurs sources possibles pour le Mg:
  - eaux souterraines fossiles;
  - Mg^{2+} absorbé et provenant des transformations de minéraux argileux ;
  - Mg^{2+} de structure rejeté lors de la transformation de la Montmorillonite en illite ;
  - dissolution en profondeur de sels potassiques magnésiens (carnallite, polyhalite, kiesérite).